

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ.
ПРОВЕРОЧНЫЕ ТЕСТЫ

Рекомендовано УМО по образованию
в области информатики и радиоэлектроники
в качестве пособия
по специальности 1-39 03 01
«Электронные системы безопасности»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2016

УДК 621.3 (076.5)
ББК 31.211 я73
Т338

Авторы:

В. И. Богданович, В. Н. Мышковец,
А. Л. Самофалов, В. В. Свиридова

Рецензенты:

доктор физико-математических наук Г. С. Митюрин;
кандидат физико-математических наук П. А. Астахов

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Теория электрических цепей. Контрольные работы.
Т 338 Проверочные тесты : пособие / В. И. Богданович [и др.] ;
М-во образования Республики Беларусь, Гомельский
гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины,
2016. – 113 с.

ISBN 978-985-577-162-4

В настоящем пособии рассмотрены основные теоретические вопросы по основным разделам дисциплины «Теория электрических цепей», приведены решения типовых задач, задания вариантов контрольных работ: «Расчет электрических цепей постоянного тока», «Расчет электрических цепей однофазного синусоидального тока», «Расчет электрических цепей трехфазного тока»; проверочные тесты. Материалы издания помогут студентам освоить материал и подготовиться к текущему и итоговому контролю знаний.

Адресовано студентам вузов, обучающимся по специальности «Электронные системы безопасности», а также студентам физических факультетов.

УДК 621.3 (076.5)
ББК 31.211 я73

ISBN 978-985-577-162-4

© Богданович В. И., Мышковец В. Н.,
Самофалов А. Л., Свиридова В. В., 2016
© Учреждение образования «Гомельский
государственный университет
имени Франциска Скорины, 2016

Оглавление

Предисловие.....	4
1 Основные сведения из теории электрических цепей.....	5
1.1 Электрические цепи постоянного тока.....	5
1.2 Электрические цепи однофазного синусоидального тока	16
1.3 Электрические цепи трехфазного тока	19
2 Примеры решения типовых задач.....	25
2.1 Методы расчета электрических цепей постоянного тока	25
2.1.1 Метод эквивалентных преобразований	
(«метод свертки»).....	25
2.1.2 Расчет электрических цепей постоянного тока	
с применением правил Кирхгофа.....	27
2.1.3 Расчет электрических цепей постоянного тока	
по методу контурных токов.....	29
2.1.4 Расчет электрических цепей постоянного тока	
с применением метода наложения.....	30
2.1.5 Расчет электрических цепей постоянного тока	
по методу двух узлов.....	32
2.1.6 Расчет электрических цепей постоянного тока	
с применением метода эквивалентного генератора.....	33
2.2 Методы расчета электрических цепей однофазного	
синусоидального тока.....	35
2.3 Методы расчета электрических цепей трехфазного тока	38
3 Контрольная работа 1. Расчет сложных цепей постоянного	
тока.....	45
4 Контрольная работа 2. Расчет электрических цепей однофаз-	
ного синусоидального тока.....	56
5 Контрольная работа 3. Расчет электрических цепей трехфаз-	
ного тока.....	64
6 Проверочные тесты.....	74
6.1 Свойства линейных электрических цепей постоянного	
тока и методы их расчета.....	74
6.2 Электрические цепи однофазного синусоидального тока	85
6.3 Электрические цепи трехфазного тока.....	102
Литература.....	112

Предисловие

Предметом дисциплины «Теория электрических цепей» является изучение наиболее общих закономерностей, описывающих процессы, протекающие во всех электротехнических устройствах. Теория электрических цепей закладывает основы знаний при анализе и расчете электротехнических и радиотехнических устройств. Для полного понимания данной дисциплины необходимо научиться самостоятельно решать разнообразные электротехнические задачи.

В первом разделе пособия рассмотрены теоретические вопросы по электрическим цепям постоянного тока, электрическим цепям однофазного синусоидального тока, электрическим цепям трехфазного тока.

Второй раздел содержит примеры решения типовых задач.

Третий раздел пособия включает задания по трем контрольным работам: электрические цепи постоянного тока, электрические цепи однофазного синусоидального тока, электрические цепи трехфазного тока. Каждая контрольная работа содержит 50 вариантов заданий.

В четвертом разделе пособия приведены разработанные авторами тестовые задания, которые могут быть использованы студентами при самостоятельной подготовки, а преподавателями – для текущего и итогового контроля знаний студентов по изучаемой дисциплине.

1 Основные сведения из теории электрических цепей

1.1 Электрические цепи постоянного тока

Для анализа и расчета электрической цепи необходимо ввести понятия ветви, узла и контура. Ветвь – это участок электрической цепи, вдоль которого протекает один и тот же ток. Узлом называют точку в электрической цепи, в которой соединяются три и более ветви. Любой замкнутый путь в электрической цепи, состоящий из нескольких ветвей, называют контуром.

На рисунке 1.1 показаны электрические схемы с обозначениями узлов, ветвей и контуров.

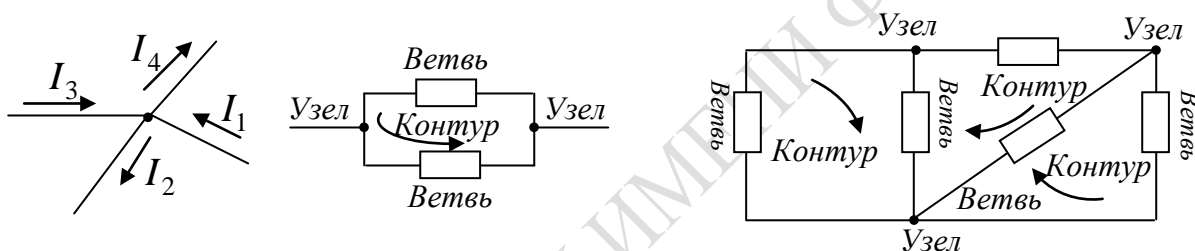


Рисунок 1.1 – Электрические схемы с обозначениями узлов, ветвей и контуров

При помощи закона Ома и правил Кирхгофа можно провести анализ и расчет любых электрических цепей [1, 2]. Так, в неразветвленной замкнутой электрической цепи под действием ЭДС E будет возникать ток I , значение которого определяется законом Ома:

$$I = \frac{E}{(R_0 + R)},$$

где $R_0 + R$ – полное сопротивление замкнутой цепи;

R_0 – внутреннее сопротивление источника;

R – сопротивление приемника (нагрузки).

Для участка электрической цепи, сопротивление которого R и напряжение на котором U , закон Ома можно записать в виде

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{или} \quad U = IR.$$

Произведение IR называют падением напряжения, причем под напряжением на любом участке электрической цепи понимают разность потенциалов между крайними точками этого участка. Например, в схеме, если через участок ab с сопротивлением R , не имеющий источника ЭДС, ток проходит от точки a к точке b (ток на участке цепи без ЭДС всегда проходит от точки более высокого потенциала к точке с более низким потенциалом), потенциал φ_a точки a будет всегда выше потенциала φ_b точки b на значение падения напряжения на сопротивлении R :

$$\varphi_a = \varphi_b + IR,$$

а напряжение между точками a и b

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = IR.$$

Таким образом, напряжение на любом участке электрической цепи, не содержащем источника ЭДС, равно произведению тока, протекающего через участок, на сопротивление этого участка.

Рассмотрим участок электрической цепи, изображённый на рисунке 1.2, и запишем для него закон Ома.

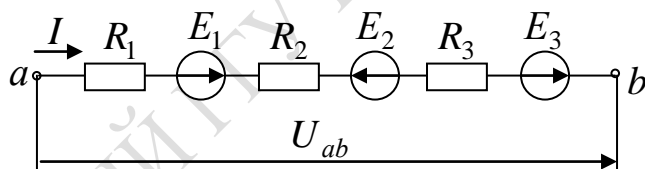


Рисунок 1.2 – Участок электрической цепи

Если за положительное направление тока I на участке ab принять направление от точки a к точке b , то потенциал φ_b , выраженный через потенциал φ_a , запишется как

$$\varphi_b = \varphi_a - IR_1 + E_1 - IR_2 - E_2 - IR_3 + E_3.$$

Выразим ток I

$$I = \frac{(\varphi_a - \varphi_b) + E_1 - E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U_{ab} \pm \sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{i=1}^n R_i},$$

где $\sum_{i=1}^n E_i = E_1 - E_2 + E_3$ – алгебраическая сумма ЭДС, действующая на участке ab , причем ЭДС записывается со знаком плюс, если она совпадает по направлению с направлением тока, и со знаком минус – если не совпадает;

$$\sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + R_3 \text{ – сопротивление участка;}$$

$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$ – напряжение между зажимами a и b . Полученное выражение называют обобщенным законом Ома.

Анализ и расчет разветвленных цепей обычно проводят с помощью правил Кирхгофа. Первое правило Кирхгофа можно сформулировать следующим образом: сумма всех токов, приходящих к узлу электрической цепи, равна сумме всех токов, выходящих из этого узла, или алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum I = 0.$$

Второе правило Кирхгофа применяют к замкнутым контурам. Оно может быть сформулировано следующим образом: алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях участков замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС источников, входящих в контур:

$$\sum IR = \sum E.$$

В уравнении ЭДС записываются со знаком плюс, если их направления совпадают с направлением обхода контура, и со знаком минус, если их направления противоположны направлению обхода.

Часто при анализе электрических цепей постоянного тока приходится иметь дело со сложными разветвленными цепями. Если такие цепи состоят из соединения линейных пассивных элементов, то анализ значительно упрощается, при условии проведения в схемах цепей определенных эквивалентных преобразований. Метод эквивалентного преобразования схем заключается в том, что сложные участки цепи заменяются более простыми, им эквивалентными. Преобразование будет эквивалентным, если оно не оказывает влияния на режим остальной, не затронутой преобразованием части цепи, то есть если оно не вызывает в оставшейся части цепи изменений напряжений и токов. Примером такого преобразования может служить замена параллельного или смешанного соединения элементов одной ветвью с эквивалентным сопротивлением. Рассмотрим методы эквивалентных преобразований схем электрических цепей.

На рисунке 1.3, а) представлена схема с последовательно соединенными резисторами.

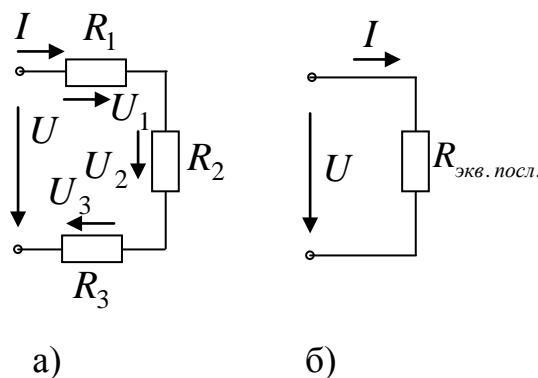


Рисунок 1.3 – Схема электрической цепи с последовательно соединенными резисторами

Известно, что в этом случае через все элементы цепи проходит один и тот же ток. Заменяв схему рисунка 1.3, а) на эквивалентную (рисунок 1.3, б)), запишем второе правило Кирхгофа и определим эквивалентное сопротивление $R_{\text{экв}}$:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 = IR_{\text{экв}}, \quad R_{\text{экв. посл.}} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Ток в цепи при последовательном соединении резисторов

$$I = \frac{U}{R_{\text{экв. посл.}}}.$$

Рассмотрим электрическую цепь, имеющую три параллельно соединенных резистора (рисунок 1.4, а)). В этом случае резисторы находятся под одним и тем же напряжением.

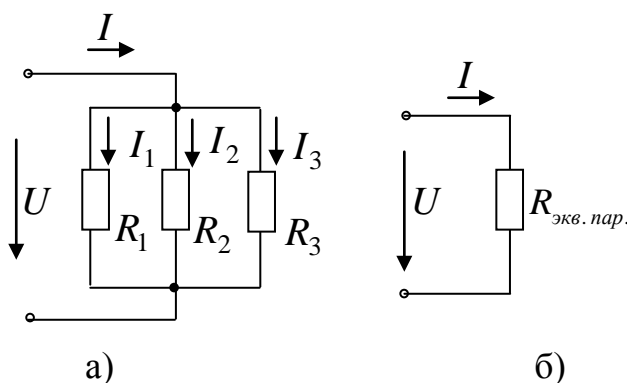


Рисунок 1.4 – Схема электрической цепи с параллельно соединенными резисторами

Ток в неразветвленной части цепи можно определить по первому правилу Кирхгофа: $I = I_1 + I_2 + I_3$, а по закону Ома для эквивалентной схемы рисунка 1.4, б), ток определится так: $I = \frac{U}{R_{\text{экв. пар.}}}$.

Эквивалентное сопротивление цепи с тремя параллельно включенными резисторами:

$$R_{\text{экв. пар.}} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}.$$

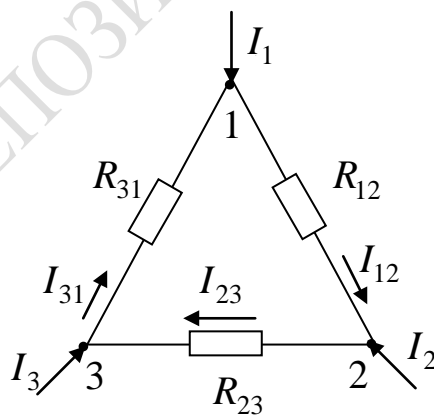
Эквивалентное сопротивление цепи с двумя параллельно включенными резисторами:

$$R_{\text{экв. пар.}} = \frac{1}{g_{\text{экв. пар.}}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

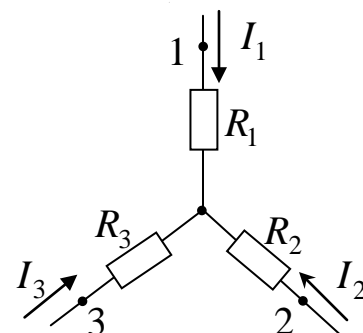
Рассмотрим электрическую схему рисунка 1.5, а). В этой схеме соединения элементов нельзя отнести ни к последовательному, ни к параллельному. В данном случае цепь образует треугольник, вершинами которого являются три узла 1, 2, 3, а сторонами – три ветви с сопротивлениями R_{12} , R_{23} , R_{31} , включенными между этими узлами. Расчет такой цепи удобно проводить, преобразовав треугольник с сопротивлениями R_{12} , R_{23} , R_{31} в эквивалентную звезду с сопротивлениями R_1 , R_2 , R_3 .

Сопротивления в этом случае вычисляются по следующим формулам:

$$R_1 = \frac{R_{31} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_2 = \frac{R_{12} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_3 = \frac{R_{23} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}.$$



а)



б)

Рисунок 1.5 – Участки электрической цепи, соединенные треугольником (а) и звездой (б)

Сопротивления в этом случае вычисляются по следующим формулам:

$$R_1 = \frac{R_{31}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_3 = \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}.$$

Рассмотрим электрическую схему рисунка 1.5, б). При переходе от звезды к треугольнику заданным является сопротивление звезды R_1, R_2, R_3 , а необходимо определить значения сопротивлений сторон треугольников R_{12}, R_{23}, R_{31} :

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}; \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}; \quad R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}.$$

Методы расчета электрических цепей постоянного тока

Метод эквивалентных преобразований («метод свертки»). Для анализа электрической цепи с одним источником электрической энергии применим метод эквивалентных преобразований («метод свертки») [1, 2]. Суть метода состоит в том, что для определения эквивалентного сопротивления $R_{\text{экв.}}$ отдельные участки электрической цепи с последовательными, параллельными элементами заменяют одним эквивалентным элементом, то есть «сворачивают» цепь для вычисления сопротивления $R_{\text{экв.}}$. Определяют ток в неразветвленной части цепи по закону Ома. А затем, «разворачивая» цепь, вычисляют оставшиеся неизвестные токи цепи. Правильность вычисленных токов проверяют, применив первое правило Кирхгофа или баланс мощностей.

Расчет электрических цепей постоянного тока с применением правил Кирхгофа. Для расчета электрических цепей постоянного тока с применением этого метода рекомендуется следующий порядок составления уравнений:

- произвольно выбирают направление токов во всех ветвях. Если принятое направление тока не совпадает с действительным, то при расчете такие токи получаются со знаком минус;
- составляют $(N - 1)$ уравнения по первому правилу Кирхгофа, где N – число узлов;
- недостающие уравнения в количестве $M - (N - 1)$, где M – число ветвей, составляют по второму правилу Кирхгофа; при этом обход контура можно производить как по часовой стрелке, так и против нее.

Все значения ЭДС, направления которых совпадают с направлением обхода контура, записываются со знаком плюс, а те значения ЭДС, направления которых не совпадают – со знаком минус. Направление действия ЭДС внутри источника всегда принимают от минуса к плюсу;

– число составленных уравнений по первому и второму правилам Кирхгофа должно быть равно числу неизвестных токов;

– полученную систему уравнений решают относительно неизвестных токов.

Расчет электрических цепей постоянного тока по методу контурных токов. Метод расчета электрических цепей заключается в том, что вместо действительных токов в ветвях на основании второго правила Кирхгофа определяются так называемые контурные токи. Контурным называется такой расчетный ток, который замыкается только по своему контуру, оставаясь вдоль него неизменным. Тогда действительный ток в любой ветви, принадлежащей только одному контуру, численно равен контурному току, а в ветви, принадлежащей нескольким контурам, равен алгебраической сумме контурных токов, проходящих через эту ветвь.

Число уравнений, составленных по второму правилу Кирхгофа, в этом случае равно числу независимых контуров. Контур считается независимым, если в нем имеется хотя бы одна ветвь, не принадлежащая другим контурам. Число независимых контуров можно определить $M - (N - 1)$, где M – число ветвей, N – число узлов. Направление обхода контура выбирают произвольно, обычно это направление совпадает с направлением контурного тока. Значение ЭДС берется со знаком плюс, если направление обхода контура совпадает с положительным направлением ЭДС, и со знаком минус, если не совпадает.

Расчет электрических цепей постоянного тока с применением метода наложения. Этот метод применим только в линейных электрических цепях, то есть в цепях, в которых сопротивления элементов не изменяются при прохождении через них тока или приложенного к ним напряжения. Расчет основывается на том, что в ветвях цепи определяют токи от действия каждого источника в отдельности, то есть частичные токи, а затем действительные токи определяются как алгебраическая сумма вычисленных частичных токов.

Расчет электрических цепей постоянного тока по методу двух узлов. Если имеется несколько ветвей, соединённых параллельно (рисунк 1.6, а)), в каждой из которых находятся источники напряжения и резистивные сопротивления, то все эти ветви можно заменить одной ветвью с некоторой эквивалентной ЭДС $E_{\text{экв}}$ и эквивалентным внутренним сопротивлением $R_{i \text{ экв}}$ (рисунк 1.6, б)).

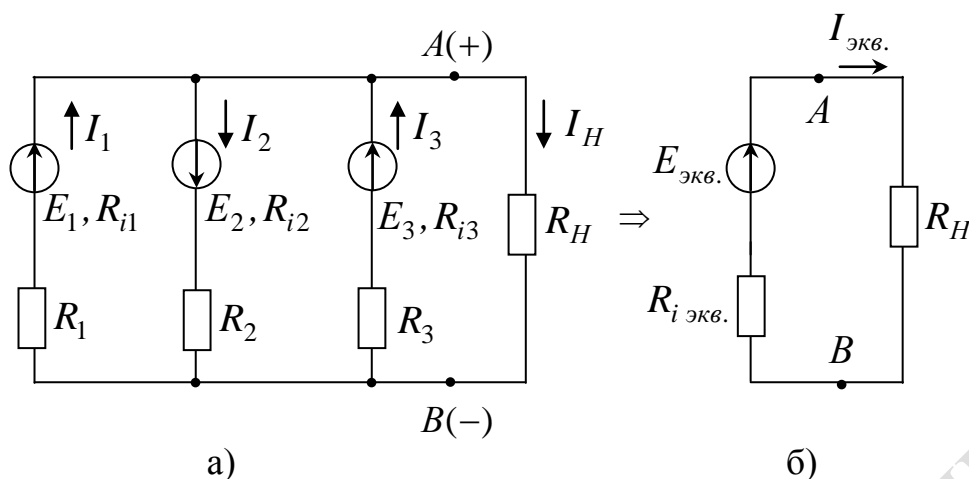


Рисунок 1.6 – Параллельно соединенные ветви

В этом случае расчет эквивалентной ЭДС $E_{\text{экр.}}$ производится по следующей формуле:

$$E_{\text{экр.}} = \frac{\sum EG}{\sum G}; \quad G = \frac{1}{R_{i \text{ экр.}}} = \sum \frac{1}{R_i},$$

где $\sum EG$ – алгебраическая сумма произведений ЭДС E ветви на резистивную проводимость G этой ветви.

Для этого вычислим $E_{\text{экр.}}$ и $R_{i \text{ экр.}}$. Пусть, например, эквивалентная ЭДС направлена к точке A , то есть на точке A – знак $(+)$, а на точке B – $(-)$. В этом случае в формуле для $E_{\text{экр.}} = \frac{\sum EG}{\sum G}$ со знаком плюс

следует записать те ЭДС, которые в исходной схеме направлены стрелками к точке A , а со знаком минус – те ЭДС, стрелки которых направлены к точке B . Все резистивные проводимости записываются со знаком плюс.

$$E_{\text{экр.}} = \frac{\sum EG}{\sum G} = \frac{E_1 \left(\frac{1}{R_{i1} + R_1} \right) - E_2 \left(\frac{1}{R_{i2} + R_2} \right) + E_3 \left(\frac{1}{R_{i3} + R_3} \right)}{\frac{1}{R_{i1} + R_1} + \frac{1}{R_{i2} + R_2} + \frac{1}{R_{i3} + R_3} + \frac{1}{R_H}}.$$

Затем подставляются численные значения, и вычисляется значение ЭДС $E_{\text{экр.}}$. Если $E_{\text{экр.}}$ получается со знаком плюс, то это означает, что предполагаемая полярность источника $E_{\text{экр.}}$ выбрана правильно, а если со знаком минус, то действительная полярность противоположна

выбранной. После проведенных преобразований получается неразветвленная цепь, в которой, зная значения ЭДС $E_{\text{экв.}}$, эквивалентного внутреннего сопротивления $R_{\text{экв.}}$, сопротивления нагрузки R_H , можно составить уравнение по второму правилу Кирхгофа:

$$E_{\text{экв.}} = U_{R_{\text{экв.}}} + U_{R_H},$$

откуда
$$E_{\text{экв.}} = R_{i_{\text{экв.}}} I_{\text{экв.}} + R_H I_{\text{экв.}} = (R_{i_{\text{экв.}}} + R_H) I_{\text{экв.}},$$

а
$$I_H = \frac{E_{R_{\text{экв.}}}}{R_{i_{\text{экв.}}} + R_H}.$$

Определим напряжение на узлах U_{AB} . Предположим, что в ветви с нагрузочным сопротивлением, ЭДС равна нулю ($E_4 = 0$). В этом случае вся цепь превращается в разомкнутую цепь с ЭДС $E_{\text{экв.}}$, но в разомкнутой ветви напряжение на внешних зажимах равно ЭДС источника, то есть $U_{AB} = E_{\text{экв.}}$.

Выбрав произвольно направления токов в ветвях и зная значение U_{AB} , рассчитываем токи в ветвях.

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1 + R_{i1}}; \quad I_2 = \frac{E_2 + U_{AB}}{R_{i2} + R_2}; \quad I_3 = \frac{E_3 - U_{AB}}{R_{i3} + R_3}; \quad I_H = \frac{U_{AB}}{R_H}.$$

Расчет электрических цепей постоянного тока с применением метода узловых напряжений (потенциалов). Этот метод позволяет рассчитывать токи в цепи с помощью $N - 1$ уравнений, составленных по первому правилу Кирхгофа, где N – число узлов. Для расчета по этому методу необходимо:

- обозначить все узловые точки цепи и потенциалы этих точек;
- задаться предполагаемыми токами во всех ветвях цепи;
- записать $N - 1$ уравнений по первому правилу Кирхгофа, где N – число узлов;
- ток в каждой ветви выразить через напряжение на зажимах ветви, ЭДС и сопротивления данной ветви. При составлении этих уравнений следует помнить, что ток течет от точки, потенциал которой выше, к точке, потенциал которой ниже. Если ЭДС по направлению совпадает с направлением предполагаемого тока, то ЭДС записывается со знаком плюс (+), а если противоположно – то со знаком минус (–);
- потенциал одного из узлов принять за начальный, например, нулевой;

– подставить числовые значения и рассчитать потенциалы остальных узловых точек;

– зная потенциалы всех узлов, ЭДС и сопротивления ветвей, рассчитать токи во всех ветвях;

– произвести проверку и определить расхождение токов в узлах, напряжений в контурах и мощности в цепи.

Рассмотрим применение данного метода для электрической цепи рисунка 1.7. Данная цепь содержит три узла a, b, d . Выберем произвольно направление токов в пяти ветвях схемы. Составляем уравнение по первому правилу Кирхгофа для любых двух узлов. Например, для узлов a и b :

$$\begin{cases} I_1 + I_3 + I_5 = I_2 \\ I_4 = I_1 + I_3. \end{cases}$$

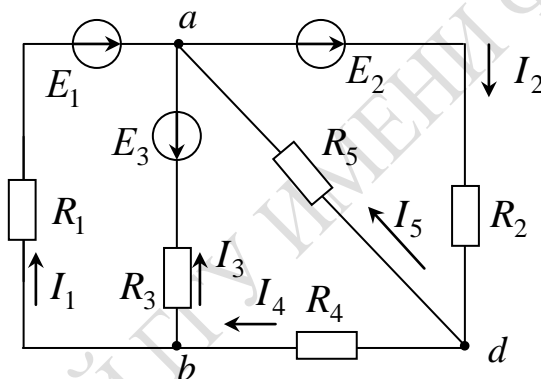


Рисунок 1.7 – Исследуемая электрическая цепь

Выражаем каждый ток через потенциалы узлов, ЭДС и сопротивления. Предполагаемый ток I_1 течет от узла b к узлу a , следовательно, потенциал точки b выше потенциала точки a , направления I_1 и E_1 совпадают, сопротивление этой ветви R_1 , поэтому ток I_1 запишем следующим образом:

$$I_1 = \frac{\varphi_b - \varphi_a + E_1}{R_1}.$$

Аналогичным образом запишутся следующие токи:

$$I_3 = \frac{\varphi_b - \varphi_a - E_3}{R_3}; \quad I_5 = \frac{\varphi_d - \varphi_a}{R_5}; \quad I_2 = \frac{\varphi_a - \varphi_d + E_2}{R_2}; \quad I_4 = \frac{\varphi_d - \varphi_b}{R_4}.$$

Примем потенциал точки d за нулевой ($\varphi_d = 0$). Подставим выраженные токи в уравнения, составленные по первому правилу Кирхгофа, и получим

$$\begin{cases} \frac{\varphi_B - \varphi_A + E_1}{R_1} + \frac{\varphi_B - \varphi_A - E_3}{R_3} + \frac{-\varphi_A}{R_5} = \frac{\varphi_A + E_2}{R_2} \\ \frac{-\varphi_B}{R_4} = \frac{\varphi_B - \varphi_A + E_1}{R_1} + \frac{\varphi_B - \varphi_A - E_3}{R_3} \end{cases}.$$

Далее подставляем численные значения и вычисляем потенциалы узлов. Зная потенциалы узлов, вычисляем неизвестные токи.

Расчет электрических цепей постоянного тока с применением метода эквивалентного генератора. Очень часто при анализе сложных электрических цепей интересуются электрическим состоянием лишь одной ветви, причем параметры элементов этой ветви могут изменяться. В этом случае нет необходимости производить расчет всей цепи каким-либо из рассмотренных методов, а целесообразно воспользоваться методом эквивалентного активного двухполюсника или методом эквивалентного генератора, в котором воздействие всех источников сложной электрической цепи на исследуемую ветвь можно заменить воздействием последовательно включенного с ветвью эквивалентного источника (генератора), имеющего ЭДС $E_{\text{экв.}}$, равную напряжению холостого хода на зажимах разомкнутой ветви и внутреннего сопротивления $R_{\text{экв.}}$, равного входному сопротивлению цепи со стороны зажимов исследуемой ветви. Рекомендуется следующий порядок расчета:

- произвольно выбирают направление тока в исследуемой ветви;
- отключают исследуемую ветвь, осуществляя режим холостого хода;
- определяют напряжение холостого хода U_{XX} на зажимах разомкнутой ветви;
- находят входное (эквивалентное) сопротивление со стороны зажимов разомкнутой ветви;
- в общем случае находят ток в исследуемой ветви как

$$I = (U_{XX} \pm E) / (R_{\text{экв.}} + R),$$

где R – сопротивление резистора ветви, в которой определяют ток;

$R_{\text{экв.}}$ – входное (эквивалентное) сопротивление цепи со стороны зажимов выделенной ветви;

$E_{\text{экв.}}$ – ЭДС исследуемой ветви.

Если ветвь не содержит ЭДС, то она принимается равной нулю. Знаки плюс или минус выбирают в соответствии с законом Ома для ветви с источником, то есть если направление ЭДС совпадает с направлением тока, то берется знак плюс, в противном случае – со знаком минус.

1.2 Электрические цепи однофазного синусоидального тока

Электрические цепи, в которых ЭДС, напряжения и токи изменяются во времени по синусоидальному закону, называются цепями переменного синусоидального тока. Значение переменного тока в любой заданный момент времени называют мгновенным током i .

Пусть к резистору с сопротивлением R приложено синусоидальное напряжение вида $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$ (рисунок 1.8). В таком случае в резисторе будет протекать ток

$$i = \frac{U_m}{R} \sin(\omega t + \psi) = I_m \sin(\omega t + \psi).$$

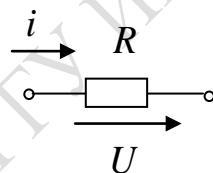


Рисунок 1.8 – Участок электрической цепи, содержащий сопротивление

Так как начальная фаза не изменилась, следовательно, напряжение на выводах сопротивления U_m и ток I_m , проходящий через это сопротивление, имеют одинаковую начальную фазу, или совпадают по фазе, то есть они одновременно достигают своих амплитудных значений и соответственно одновременно проходят через нуль.

Разность начальных фаз двух синусоид, имеющих одинаковую частоту, называются фазовым сдвигом. В данном случае фазовый сдвиг между напряжением и током равен нулю: $\varphi = (\psi_u - \psi_i) = 0$.

Закон Ома для амплитудных и действующих значений токов и напряжений запишется так: $U_m = RI_m$; $U = RI$.

Рассмотрим катушку (рисунок 1.9) с индуктивностью L , активным сопротивлением которой можно пренебречь, то есть идеальную катушку.

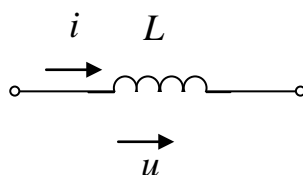


Рисунок 1.9 – Участок электрической цепи, содержащий индуктивность

Пусть через нее протекает синусоидальный ток $i = I_m \sin(\omega t + \psi)$.

Напряжение на индуктивности определяется как $u_L = -e_L = U_m \sin\left(\omega t + \psi + \frac{\pi}{2}\right)$. Из формулы видно, что на индуктивности ток отстает по фазе от напряжения на угол $\frac{\pi}{2}$. Под фазовым сдвигом понимается разность начальных фаз тока и напряжения, которая для индуктивного элемента $\varphi = (\psi_u - \psi_i) = \frac{\pi}{2}$.

Закон Ома для амплитудных значений тока и напряжений запишется: $U_m = \omega L I_m = X_L I$, а для действующих значений тока и напряжения – $U = \omega L I = X_L I$.

Величина $X_L = \omega L$ называется индуктивным сопротивлением, а $b_L = \frac{1}{\omega L}$ – индуктивной проводимостью.

Пусть приложенное напряжение на ёмкости C $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$ – синусоидально, тогда ток, протекающий по емкости (рисунок 1.10), запишется как

$$i = C \frac{dU}{dt} = \omega C U_m \cos(\omega t + \psi) = I_m \sin\left(\omega t + \psi + \frac{\pi}{2}\right).$$

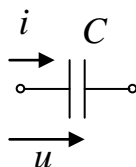


Рисунок 1.10 – Участок электрической цепи, содержащий емкость

Следовательно, ток i опережает приложенное напряжение по фазе на угол $\frac{\pi}{2}$, то есть нулевому значению тока соответствует максимальное (положительное или отрицательное) значение напряжения U .

Фазовый сдвиг между напряжением и током на емкости

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = -\frac{\pi}{2}.$$

Амплитудное и действующее значения напряжения соответственно равны $U_m = \frac{1}{\omega C} I_m = X_C I_m$; $U = X_C I$. Величина $X_C = \frac{1}{\omega C}$ называется емкостным сопротивлением, а $b_C = \frac{1}{\omega C}$ – емкостной проводимостью.

Рассмотрим последовательное соединение резистивного, индуктивного и емкостного элементов (рисунок 1.11).

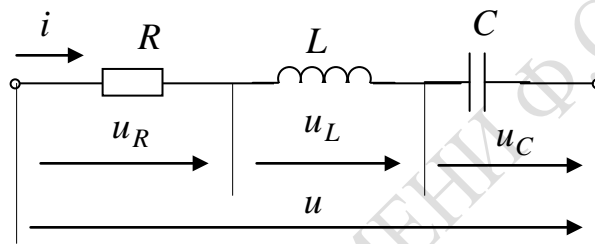


Рисунок 1.11 – Последовательное соединение R, L, C -элементов

Полное реактивное сопротивление цепи вычисляется по формуле

$$X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}.$$

Если $X > 0$, цепь имеет индуктивный характер, если $X < 0$, цепь имеет емкостной характер. Активное сопротивление R всегда положительно.

Амплитудное значение напряжения запишется: $U_m = I_m \sqrt{(R^2 + X^2)}$.

Если полное сопротивление цепи обозначить $Z = \sqrt{(R^2 + X^2)}$, то амплитудное значение будет следующим: $U_m = Z I_m$. Учитывая, что действующее значение напряжения и амплитудное связаны следующим соотношением $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$, действующее значение напряжения имеет вид: $U = Z I$. Угол сдвига фаз между током и напряжением можно определить таким образом: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}$; $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{X}{R}$.

Запишем второе правило Кирхгофа в комплексной форме:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C.$$

Выразим его через амплитудные значения тока и напряжения:

$$\dot{U} = R\dot{I}_m + j\omega\dot{I}_m + \frac{1}{j\omega C}\dot{I}_m.$$

Если комплексное сопротивление рассматриваемой цепи

$$\underline{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + jX,$$

то закон Ома для амплитудных значений примет вид $\dot{U}_m = \underline{Z}\dot{I}_m$, а для действующих значений $\dot{U} = \underline{Z}\dot{I}$.

Выразим полное сопротивление цепи в тригонометрической и показательной формах: $\underline{Z} = Z\cos\varphi + jZ\sin\varphi = Ze^{j\varphi}$, где $Z = |\underline{Z}|$ – модуль комплексного числа $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$; $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$ – фаза.

Активная мощность электрической цепи может быть вычислена следующим образом:

$$P = ZI^2\cos\varphi = RI^2, \quad P = gU^2\cos\varphi = gU^2, \quad P = U_a I, \quad P = UI_a.$$

Выражение для реактивной мощности можно записать в виде:

$$Q = ZI^2\sin\varphi = XI^2, \quad Q = yU^2\sin\varphi = bU^2, \quad Q = U_p I, \quad Q = UI_p.$$

Очевидно, что $S = P^2 + Q^2$; $\sin\varphi = \frac{Q}{S}$; $\tg\varphi = \frac{Q}{P}$.

Комплекс полной мощности цепи запишется:

$$\tilde{S} = \dot{U}\dot{I}^* = UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi = P + jQ,$$

где $\dot{I} = Ie^{j\psi_1}$; $\dot{U} = Ue^{j\psi_2}$, а $\varphi = \psi_2 - \psi_1$ – фазовый сдвиг.

1.3 Электрические цепи трехфазного тока

Трехфазные цепи – это совокупность трех однофазных цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые друг относительно друга по фазе на один и тот же угол $\varphi = \frac{2\pi}{3}$ [1–3].

Рассмотрим трехфазную цепь при соединении источника и приемника звездой (рисунок 1.12).

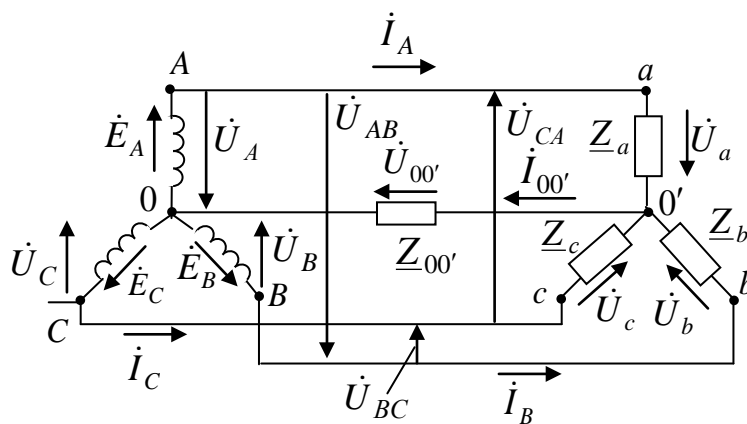


Рисунок 1.12 – Схема четырехпроводной трехфазной цепи для приемника, соединенного звездой

В этом случае концы фаз приемника соединены в общий узел $0'$, а концы фаз генератора соединены в общий узел 0 . Если узлы 0 и $0'$ соединить проводом, называемым нейтральным, с сопротивлением $Z_{00'}$, то получим четырехпроводную цепь. Сопротивления проводов, связывающих источник с нагрузкой, можно учесть в сопротивлениях нагрузки Z_a , Z_b , Z_c .

Так как при соединении звездой фазы генератора соединены последовательно с фазами нагрузки, линейные токи одновременно являются и фазными токами, как в фазах генератора, так и в фазах нагрузки $I_L = I_\phi$.

За условные положительные направления линейных токов \dot{I}_A , \dot{I}_B , \dot{I}_C принимают направления от источника к нагрузке, а за положительное направление тока в нейтральном проводе – от нагрузки к источнику.

Согласно первому правилу Кирхгофа, ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_{00'} = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C .$$

Рассмотрим трехфазную цепь с несимметричным приемником, соединенным звездой, то есть для которого сопротивления нагрузки $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$. Так как напряжения на фазах приемника различны, то нарушается соотношение между фазными и линейными напряжениями $U_L = \sqrt{3}U_\phi$, причем на одних фазах приемника напряжение становится большим, а на других – меньшим, чем $\frac{U_L}{\sqrt{3}}$.

Наличие нейтрального провода в цепи с несимметричным приемником позволяет выравнивать напряжение на фазах приемника и поддерживать их постоянными, равными фазным напряжениям источника $\frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}}$, то есть нейтральный провод обеспечивает симметрию фазных напряжений приемника. Иначе говоря, при наличии нейтрального провода, когда $Z_{00'} = 0$, даже при несимметричном приемнике фазные напряжения равны друг другу и соблюдается соотношение между фазными и линейными напряжениями $U_{\text{Л}} = \sqrt{3}U_{\Phi}$.

Рассмотрим четырехпроводную цепь более подробно. Найдем для этой цепи напряжение между нейтральными точками 0 и 0' по методу двух узлов

$$\dot{U}_{00'} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_a + \dot{U}_B \underline{Y}_b + \dot{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_{00'}},$$

где $\dot{U}_A = U_A$; $\dot{U}_B = U_A e^{-j120^\circ}$; $\dot{U}_C = U_A e^{j120^\circ}$;
 $\underline{Y}_a = \frac{1}{\underline{Z}_a}$; $\underline{Y}_b = \frac{1}{\underline{Z}_b}$; $\underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_c}$ – комплексные проводимости фаз приемника;

$\underline{Y}_{00'} = \frac{1}{\underline{Z}_{00'}}$ – комплексная проводимость нейтрального провода.

Согласно второму правилу Кирхгофа, для контуров (рисунок 1.12) 0Aa0'0, 0Bb0'0, 0Cc0'0 находим напряжения на фазах источника через напряжения на фазах приемника и напряжение нулевого провода:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{00'}; \quad \dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{00'}; \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{00'}.$$

Тогда токи запишутся так:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a} = (\dot{U}_A - \dot{U}_{00'}) \underline{Y}_a; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b} = (\dot{U}_B - \dot{U}_{00'}) \underline{Y}_b;$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c} = (\dot{U}_C - \dot{U}_{00'}) \underline{Y}_c; \quad \dot{I}_{00'} = \frac{\dot{U}_{00'}}{\underline{Z}_{00'}} = \dot{U}_{00'} \underline{Y}_{00'} = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

Если напряжения источника $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ образуют симметричную систему, то при отсутствии нейтрального провода и при $\dot{U}_{00'} \neq 0$ напряжения на фазе нагрузки $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ несимметричны, что видно из векторной диаграммы, приведенной на рисунке 1.13.

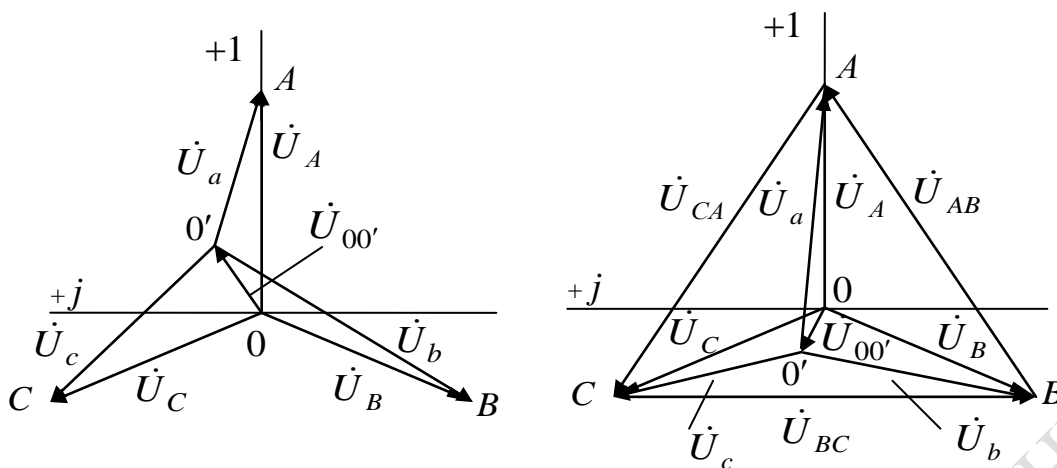


Рисунок 1.13 – Векторные диаграммы напряжений несимметричного приемника, соединенного звездой

Рассмотрим трёхфазную цепь при соединении приемников треугольником (рисунок 1.14).

Если учесть сопротивление линейных проводов, то потенциалы вершин этого треугольника будут отличаться от потенциалов зажимов источника, поэтому зажимы трехфазного приемника обозначены a, b, c . Из схемы рисунка 1.14 видно, что каждая фаза приемника непосредственно подключена на линейное напряжение, то есть $U_\phi = U_L$.

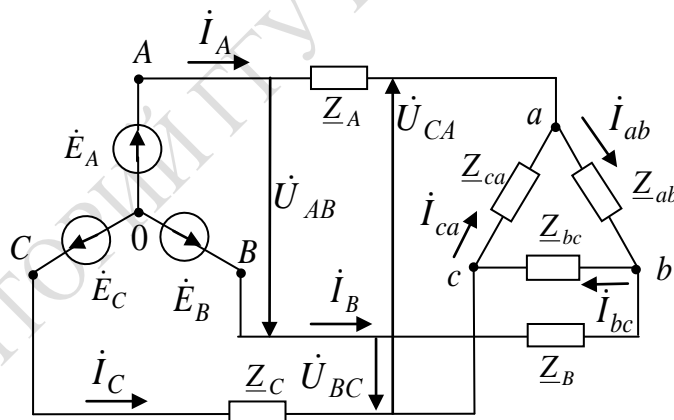


Рисунок 1.14 – Схема трехпроводной трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником

Для нагрузки, соединенной треугольником, фазные и линейные токи не равны между собой. У приемников условно принятые положительные направления линейных напряжений совпадают с условными положительными направлениями фазных токов.

Для несимметричной нагрузки, когда сопротивление фаз $Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}$, фазные токи, углы сдвига фаз между фазными токами и напряжениями, а также линейные токи различные.

Применяя первое правило Кирхгофа к узловым точкам a, b, c , определяем линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc},$$

где $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ – линейные токи;

$\dot{I}_{ab}, \dot{I}_{ca}, \dot{I}_{bc}$ – фазные токи.

Значения линейных токов $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ равны геометрической разности векторов соответствующих фазных токов.

Зная сопротивление фаз приемника, можно определить фазные токи по формулам:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}}; \quad \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}}; \quad \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}}.$$

Геометрическая сумма векторов линейных токов в трехпроводной цепи равна нулю:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0.$$

Линейные токи можно определить и графическим способом, построив векторную диаграмму напряжений и токов (рисунок 1.15).

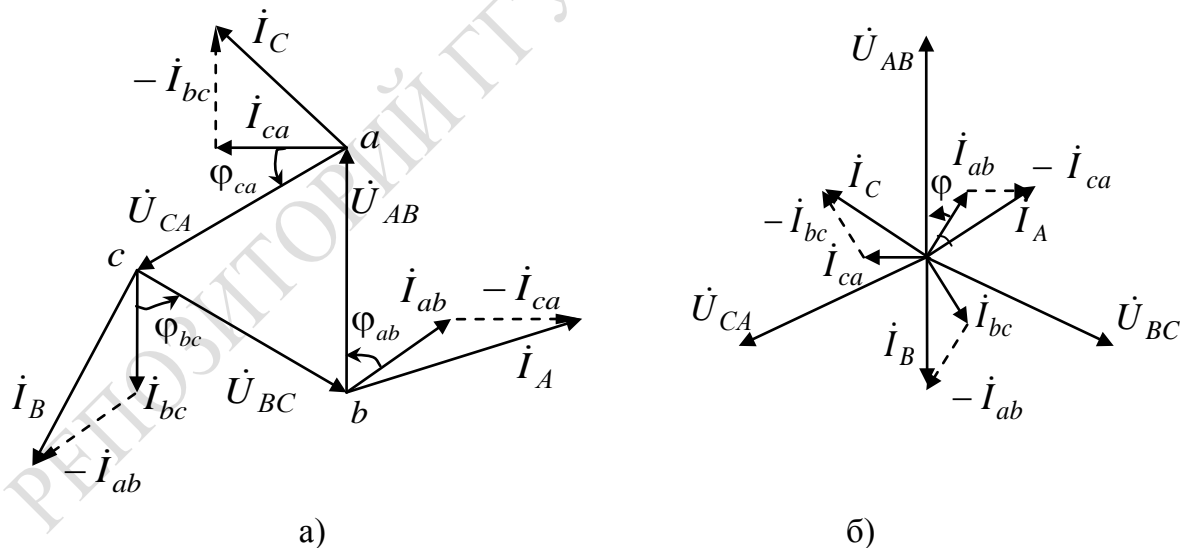


Рисунок 1.15 – Топографическая диаграмма напряжений (а)) и векторная диаграмма токов (б)) при нагрузке, соединенной треугольником

Комплекс полной мощности трехфазной цепи можно записать в виде

$$\tilde{S} = \dot{U}_A \dot{I}_A^* + \dot{U}_B \dot{I}_B^* + \dot{U}_C \dot{I}_C^* = P + jQ,$$

где P – активная мощность трехфазной цепи

$$P = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C = P_A + P_B + P_C,$$

а Q – реактивная мощность трехфазной цепи

$$Q = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C = Q_A + Q_B + Q_C.$$

Активная и реактивная мощности при симметричной нагрузке:

$$P = 3P_\phi = 3I_\phi U_\phi \cos \varphi_\phi; \quad Q = 3Q_\phi = 3I_\phi U_\phi \sin \varphi_\phi.$$

Полная мощность при симметричной нагрузке

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3\sqrt{P_\phi^2 + Q_\phi^2} = 3S_\phi = 3U_\phi I_\phi.$$

Так как при соединении симметричной нагрузки треугольником $U_\phi = U_\Delta = U$ и $I_\phi = \frac{I_\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{I}{\sqrt{3}}$, а при соединении симметричной

нагрузки звездой $U_\phi = \frac{U_\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{U}{\sqrt{3}}$ и $I_\phi = I_\Delta = I$, то независимо от

схемы соединения фаз приемника произведение $U_\phi I_\phi = \frac{UI}{\sqrt{3}}$ оказыва-

ется одинаковым. Таким образом, независимо от схемы соединения симметричной нагрузки имеют место следующие выражения для мощностей:

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi; \quad S = \sqrt{3} UI.$$

2 Примеры решения типовых задач

2.1 Методы расчета электрических цепей постоянного тока

2.1.1 Метод эквивалентных преобразований («метод свертки»)

Пример. На рисунке 2.1 приведена схема замещения разветвленной электрической цепи с одним источником электрической энергии, для которой известны:

а) значения сопротивлений резисторов:

$$R_1 = 2 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом},$$

$$R_3 = 4 \text{ Ом},$$

$$R_4 = 12 \text{ Ом},$$

$$R_5 = 8 \text{ Ом},$$

$$R_6 = 14 \text{ Ом};$$

б) значения ЭДС:

$$E_1 = 40 \text{ В};$$

в) внутреннее сопротивление $R_{01} = 0,6 \text{ Ом}$.

Требуется определить токи во всех участках электрической цепи.

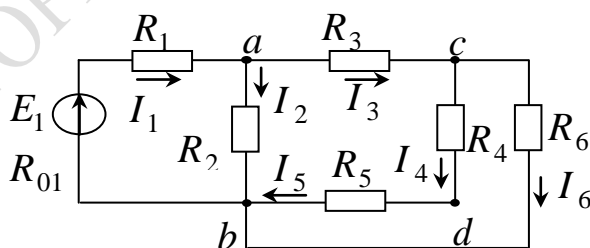


Рисунок 2.1 – Схема замещения разветвленной электрической цепи с одним источником электрической энергии

Решение. Для решения такой задачи отдельные участки электрической цепи с последовательно или параллельно соединенными элементами заменяют одним эквивалентным элементом. Так, резисторы R_4 и R_5 соединены последовательно, а резистор R_6 к ним параллельно, поэтому их эквивалентное сопротивление запишется как

$$R_{456} = \frac{R_4 R_6}{R_4 + R_6} = 8,2 \text{ Ом},$$

где $R_{45} = R_4 + R_5 = 20 \text{ Ом}$.

Сопротивления R_3 и R_{456} соединены последовательно, поэтому их общее сопротивление будет равно $R_{3456} = R_3 + R_{456} = 12,2 \text{ Ом}$.

Сопротивления R_2 и R_{3456} соединены параллельно, следовательно,

$$R_{23456} = \frac{R_2(R_3 + R_{456})}{R_2 + R_3 + R_{456}} = 4 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное (входное) сопротивление всей цепи находят из уравнения

$$R_{\text{экв.}} = R_{01} + R_1 + \frac{R_2(R_3 + R_{456})}{R_2 + R_3 + R_{456}} = 6,6 \text{ Ом}.$$

Ток I_1 в неразветвленной части схемы определяют из закона Ома:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_{\text{экв.}}} = 6 \text{ А}.$$

Токи I_2 и I_3 можно определить так:

$$I_2 = I_1 \frac{R_3 + R_{456}}{R_2 + R_3 + R_{456}} = 4 \text{ А};$$

$$I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_{456}} = 2 \text{ А}.$$

Токи I_4 , I_5 , I_6 определяют по следующим формулам:

$$I_4 = I_5 = I_3 \frac{R_6}{R_4 + R_5 + R_6} = 0,8 \text{ А}; \quad I_6 = I_3 \frac{R_4 + R_5}{R_4 + R_5 + R_6} = 1,2 \text{ А}.$$

Зная ток I_1 , можно найти ток I_2 по-другому. На основании второго правила Кирхгофа, определяем напряжение на участке ab $U_{ab} = E_1 - I_1(R_{01} + R_1) = 24,4 \text{ В}$, тогда значение тока будет равно

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2} = 4 \text{ А}.$$

Правильность вычисленных значений можно проверить, воспользовавшись первым правилом Кирхгофа:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_2 + I_3; \\
 6 \text{ A} &= 4 \text{ A} + 2 \text{ A}; \\
 I_3 &= I_4 + I_6; \\
 2 \text{ A} &= 0,8 \text{ A} + 1,2 \text{ A},
 \end{aligned}$$

или составив уравнение для баланса мощностей:

$$\begin{aligned}
 E_1 I_1 &= (R_{01} + R_1) I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + (R_4 + R_5) I_4^2 + R_6 I_6^2; \\
 40 \cdot 6 &= (0,6 + 2) \cdot 6^2 + 6 \cdot 4^2 + 4 \cdot 2^2 + (12 + 8) \cdot 0,8^2 + 14 \cdot 1,2^2; \\
 240 &= 238,56.
 \end{aligned}$$

2.1.2 Расчет электрических цепей постоянного тока с применением правил Кирхгофа

Пример. Для электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 2.2, известны:

а) значения сопротивлений резисторов:

$$R_1 = 2 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом},$$

$$R_3 = 4 \text{ Ом},$$

$$R_4 = 12 \text{ Ом},$$

$$R_5 = 8 \text{ Ом};$$

б) значения ЭДС:

$$E_1 = 40 \text{ В},$$

$$E_2 = 20 \text{ В}.$$

Требуется определить токи во всех участках электрической цепи.

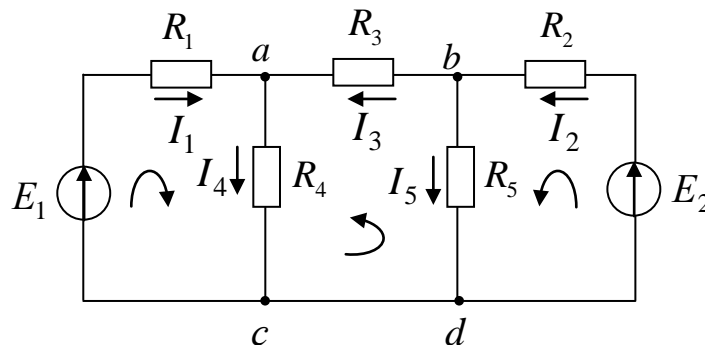


Рисунок 2.2 – Схема замещения разветвленной электрической цепи с двумя источниками электрической энергии для расчета с применением правил Кирхгофа

Решение. Составим систему уравнений по правилам Кирхгофа. Эта схема имеет пять ветвей и три узла, поэтому по первому правилу Кирхгофа для нее нужно составить два уравнения, например:

- для узла a : $I_1 + I_3 - I_4 = 0$;
- для узла b : $I_2 - I_5 - I_3 = 0$.

Выбрав направления обхода контура, составляем три уравнения по второму правилу Кирхгофа для трех произвольно выбранных контуров:

$$\begin{aligned} E_1 &= I_1 R_1 + I_4 R_4; \\ E_2 &= I_2 R_2 + I_5 R_5; \\ 0 &= I_3 R_3 + I_4 R_4 - I_5 R_5. \end{aligned}$$

Подставляя значения сопротивлений и ЭДС, получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} I_1 + I_3 - I_4 = 0 & (1) \\ I_2 - I_5 - I_3 = 0 & (2) \\ 40 = 2I_1 + 12I_4 & (3) \\ 20 = 6I_2 + 8I_5 & (4) \\ 0 = 4I_3 + 12I_4 - 8I_5. & (5) \end{cases}$$

Для решения данной системы уравнений можно применить все известные методы. Применим метод подстановки.

Подставим (1) и (2) в (3) – (5) и приведем подобные:

$$\begin{cases} 40 = 14I_1 + 12I_3 & (6) \\ 20 = 14I_2 - 8I_3 & (7) \\ 0 = 3I_1 - 2I_2 + 6I_3. & (8) \end{cases}$$

Из (6) выразим I_1 , а из (7) – I_2 , подставим в (8), приведем подобные и получим:

$$I_3 = -2,5 \text{ A}.$$

Подставив полученное значение тока I_3 в уравнения (6), (7), а затем в (1) и (2), найдем остальные токи:

$$I_1 = 5 \text{ A}; \quad I_2 = \text{A}; \quad I_4 = 2,5 \text{ A} \quad I_5 = 2,5 \text{ A}.$$

Правильность вычисленных значений токов можно проверить, составив уравнение для баланса мощностей:

$$E_1 I_1 + E_2 I_3 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2;$$

$$40 \cdot 5 = 2 \cdot 5^2 + 6 \cdot 0^2 + 4 \cdot 2,5^2 + 12 \cdot 2,5^2 + 8 \cdot 2,5^2;$$

$$200 = 200.$$

2.1.3 Расчет электрических цепей постоянного тока по методу контурных токов

Пример. Для электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 2.3, известны:

а) значения сопротивлений резисторов:

$$R_1 = 2 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом},$$

$$R_3 = 4 \text{ Ом},$$

$$R_4 = 12 \text{ Ом},$$

$$R_5 = 8 \text{ Ом};$$

б) значения ЭДС:

$$E_1 = 40 \text{ В},$$

$$E_2 = 20 \text{ В}.$$

Требуется определить токи во всех участках электрической цепи.

Решение. Составим систему уравнений для трех независимых контуров по методу контурных токов:

$$\begin{cases} E_1 = I_{11}(R_1 + R_4) + I_{33}R_4 \\ E_2 = I_{22}(R_2 + R_5) - I_{33}R_5 \\ 0 = I_{11}R_4 - I_{22}R_5 + I_{33}(R_4 + R_3 + R_5). \end{cases}$$

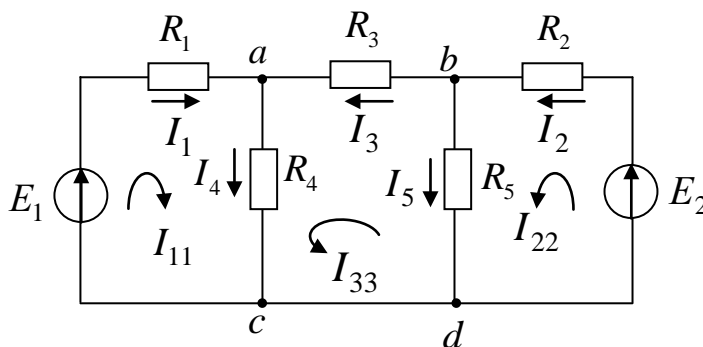


Рисунок 2.3 – Схема замещения разветвленной электрической цепи с двумя источниками электрической энергии для расчета методом контурных токов

Подставляя значения сопротивлений и ЭДС, получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} 40 = (2 + 12)I_{11} + 12I_{33} \\ 20 = (2 + 8)I_{22} - 8I_{33} \\ 0 = 12I_{11} - 8I_{22} + 24I_{33}. \end{cases}$$

Данную систему решим, применив метод Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 14 & 0 & 12 \\ 0 & 10 & -8 \\ 12 & -8 & 24 \end{vmatrix} = 1024;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 40 & 0 & 12 \\ 20 & 10 & -8 \\ 0 & -8 & 24 \end{vmatrix} = 5120;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 14 & 0 & 12 \\ 0 & 20 & -8 \\ 12 & 0 & 24 \end{vmatrix} = 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 14 & 0 & 40 \\ 0 & 10 & 20 \\ 12 & -8 & 0 \end{vmatrix} = -2560.$$

Определим контурные токи:

$$I_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 5 \text{ A}; \quad I_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = 0 \text{ A}; \quad I_{33} = \frac{\Delta_3}{\Delta} = -2,5 \text{ A}.$$

Зная контурные токи, определяем действительные токи в ветвях схемы следующим образом:

$$\begin{aligned} I_1 = I_{11} = 5 \text{ A}; \quad I_2 = I_{22} = 0 \text{ A}; \quad I_3 = I_{33} = -2,5 \text{ A}; \\ I_4 = I_{11} + I_{33} = 2,5 \text{ A}; \quad I_5 = I_{22} - I_{33} = 2,5 \text{ A}. \end{aligned}$$

2.1.4 Расчет электрических цепей постоянного тока с применением метода наложения

Пример. Для электрической цепи, схема которой приведена на рисунке 2.4, а), требуется определить токи во всех участках электрической цепи, если известны:

а) значения ЭДС:

$$E_1 = 40 \text{ В},$$

$$E_2 = 20 \text{ В};$$

б) значения резисторов:

$$R_1 = 2 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом},$$

$$R_3 = 4 \text{ Ом}.$$

Решение. Исключим в ней источник E_2 , считая, что $E_2 = 0$. Тогда схема примет вид рисунка 2.4, б). Ток в неразветвленной части цепи будет равен общему току, то есть току от действия первого источника ЭДС:

$$I'_{\text{общ.}} = I'_1 = \frac{E_1}{R'_{\text{экв.}}}$$

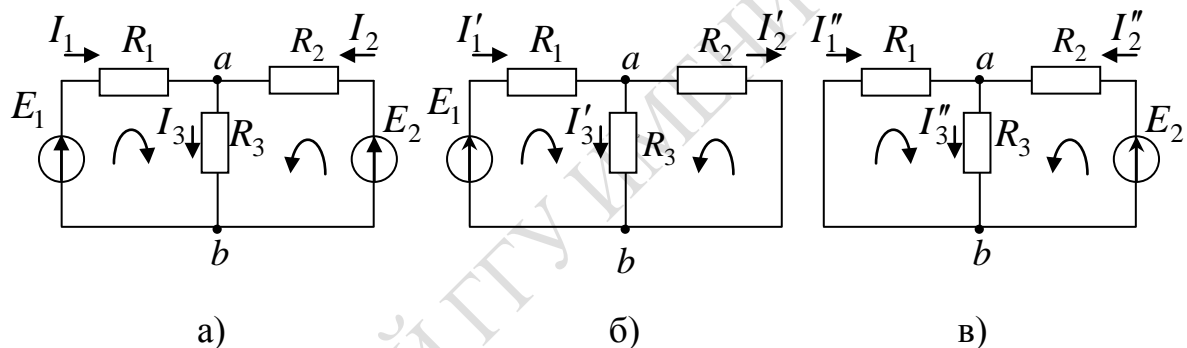


Рисунок 2.4 – Схема замещения разветвленной электрической цепи с двумя источниками электрической энергии (а) и схемы замещения электрической цепи для определения частичных токов от действия ЭДС E_1 (б) и ЭДС E_2 (в)

Вычислим значения $R'_{\text{экв.}} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 4,4 \text{ Ом}.$

Тогда ток $I'_1 = \frac{E_1}{R'_{\text{экв.}}} = 9,1 \text{ А}.$

Ток I'_3 определим так: $I'_3 = \frac{E_1 - I'_1 R_1}{R_3} = 5,45 \text{ А}.$

Применив первое правило Кирхгофа, вычислим

$$I'_2 = I'_1 - I'_3 = 3,65 \text{ А}.$$

Токи I'_2 , I'_3 можно вычислить и так:

$$I'_2 = I'_1 \frac{R_3}{R_3 + R_2} = 3,65 \text{ A}, \quad I'_3 = I'_1 \frac{R_2}{R_3 + R_2} = 5,45 \text{ A}.$$

Исключим источник E_1 , то есть будем считать, что ЭДС первого источника $E_1 = 0$. Тогда схема примет вид, указанный на рисунке 2.4, в). Ток в неразветвленной части цепи в этом случае определим как

$$I''_{\text{общ.}} = I''_2 = \frac{E_2}{R''_{\text{экв.}}}.$$

Вычислим значение $R''_{\text{экв.}} = R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 7,33 \text{ Ом}.$

Тогда ток $I''_2 = \frac{E_2}{R''_{\text{экв.}}} = 2,73 \text{ A}.$

Ток I''_3 определим как $I''_3 = \frac{E_1 - I''_2 R_2}{R_3} = 0,91 \text{ A},$

а $I''_1 = I''_3 - I''_2 = -1,82 \text{ A}.$

Токи I''_1 , I''_3 можно определить и так:

$$I'_1 = I'_2 \frac{R_3}{R_3 + R_1} = 1,82 \text{ A}; \quad I''_3 = I''_1 \frac{R_1}{R_3 + R_1} = 0,91 \text{ A}.$$

Действительные токи определим как алгебраическую сумму частичных токов (рисунок 2.4):

$$I_1 = I'_1 + I''_1 = 7,28 \text{ A}; \quad I_2 = I'_2 - I''_2 = -0,92 \text{ A}; \quad I_3 = I'_3 + I''_3 = 6,36 \text{ A}.$$

2.1.5 Расчет электрических цепей постоянного тока по методу двух узлов

Пример. Рассчитаем токи для электрической цепи, изображенной на рисунке 2.5, если известны:

а) значения сопротивлений резисторов:

$$R_1 = 2 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом},$$

$$R_3 = 4 \text{ Ом},$$

$$R_4 = 12 \text{ Ом};$$

б) значения ЭДС:

$$E_1 = 40 \text{ В},$$

$$E_2 = 20 \text{ В},$$

$$E_3 = 60 \text{ В}.$$

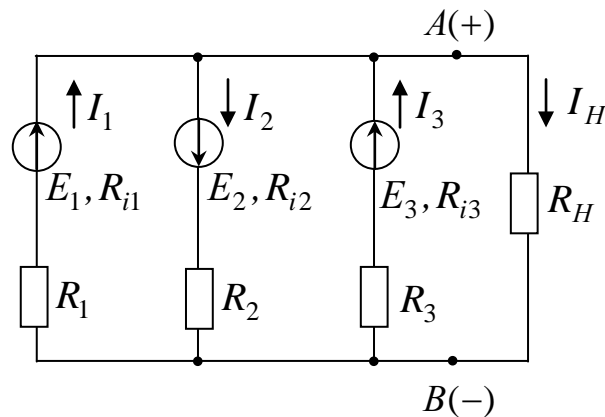


Рисунок 2.5 – Схема замещения разветвленной электрической цепи для расчета с применением метода двух узлов

Решение. Пусть, например, эквивалентная ЭДС направлена к точке A, то есть на точку A(+), а на точке B(-). Рассчитаем значения эквивалентной ЭДС:

$$E_{\text{экв.}} = \frac{E_1 \left(\frac{1}{R_1} \right) - E_2 \left(\frac{1}{R_2} \right) + E_3 \left(\frac{1}{R_3} \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{40 \frac{1}{2} - 20 \frac{1}{6} + 60 \frac{1}{4}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \frac{1}{4} + \frac{1}{12}} = 31,67 \text{ В}.$$

Так как $U_{AB} = E_{\text{экв.}}$, с учетом выбранных направлений токов, рассчитаем токи в ветвях:

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1} = 4,17 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{E_2 + U_{AB}}{R_2} = 8,61 \text{ А};$$

$$I_3 = \frac{E_3 - U_{AB}}{R_3} = 7,08 \text{ А}; \quad I_4 = \frac{U_{AB}}{R_4} = 2,64 \text{ А}.$$

2.1.6 Расчет электрических цепей постоянного тока с применением метода эквивалентного генератора

Пример. Рассмотрим схему, изображенную на рисунке 2.6, для которой известны:

а) значения сопротивлений резисторов:

$$R_1 = 2 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом},$$

$$R_3 = 4 \text{ Ом},$$

$$R_4 = 12 \text{ Ом},$$

$$R_5 = 8 \text{ Ом},$$

$$R_6 = 10 \text{ Ом};$$

б) значения ЭДС:

$$E_2 = 20 \text{ В},$$

$$E_3 = 30 \text{ В},$$

$$E_4 = 10 \text{ В},$$

$$E_5 = 40 \text{ В},$$

$$E_6 = 60 \text{ В}.$$

Требуется определить ток I_3 .

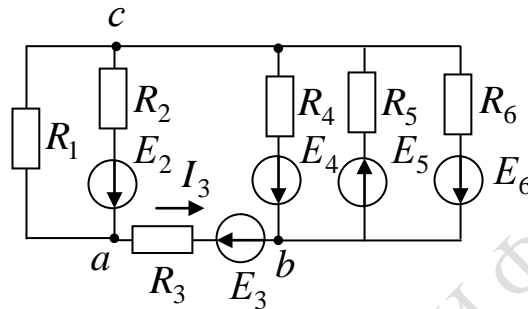


Рисунок 2.6 – Схема замещения разветвленной электрической цепи для расчета с применением метода эквивалентного генератора

Решение. Решение задачи состоит из двух этапов:

1 Определяем напряжение холостого хода U_{xx} на зажимах разомкнутой ветви ab . Схема в этом случае имеет вид, показанный на рисунке 2.7. Для определения тока в первом контуре применим метод контурных токов:

$$I_{1X} = E_2 / (R_1 + R_2) = 20 / (2 + 6) = 2,5 \text{ А}; \quad I_1 = I_{1X} = 2,5 \text{ А}.$$

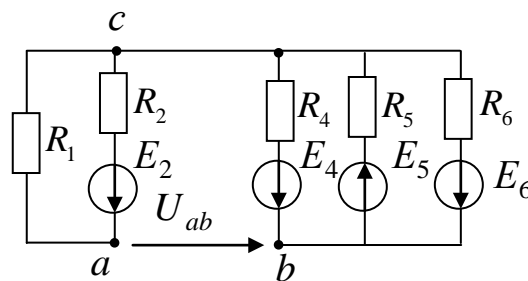


Рисунок 2.7 – Разомкнутая цепь

Напряжения между точками cd U_{cb} находим по методу двух узлов:

$$U_{cb} = \frac{E_5 G_5 - E_4 G_4 - E_6 G_6}{G_5 + G_4 + G_6} = \frac{40 \frac{1}{8} - 60 \frac{1}{10} - 10 \frac{1}{12}}{\frac{1}{8} + \frac{1}{12} + \frac{1}{10}} = -5,94 \text{ В}.$$

Напряжение U_{xx} вычислим так:

$$U_{xx} = U_{ab},$$

где $U_{ab} = R_1 I_1 + U_{cb} = -0,94 \text{ В}$.

2 Для определения сопротивления исключим все источники ЭДС. Схема в этом случае имеет вид, показанный на рисунке 2.8.

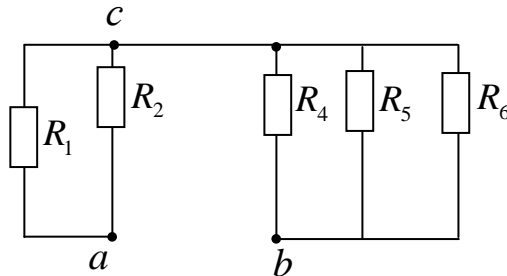


Рисунок 2.8 – Схема электрической цепи рисунка 2.7 для расчета эквивалентного сопротивления

Рассчитаем эквивалентное сопротивление

$$R_{\text{экв.}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_4 R_5 R_6}{R_4 R_5 + R_6 R_5 + R_4 R_6} =$$

$$= \frac{12}{8} + \frac{12 \cdot 8 \cdot 10}{12 \cdot 8 + 8 \cdot 10 + 12 \cdot 10} = 4,74 \text{ Ом.}$$

Тогда ток I_3 вычислится по следующей формуле

$$I_3 = \frac{U_{xx} - E_3}{R_3 + R_{\text{экв.}}} = -3,54 \text{ А.}$$

2.2 Методы расчета электрических цепей однофазного синусоидального тока

Пример. Рассчитать комплексные значения токов \dot{I}_1 , \dot{I}_2 , \dot{I}_3 и напряжений на участках \dot{U}_{ab} , \dot{U}_{bc} , активную, реактивную и полную мощности и построить векторную диаграмму для электрической цепи, схема которой приведена на рисунке 2.9, если известно, что

$$U = 120 \text{ В},$$

$$R_1 = 10 \text{ Ом},$$

$$\begin{aligned}
 R_2 &= 24 \text{ Ом}, \\
 R_3 &= 15 \text{ Ом}, \\
 L_1 &= 19,1 \text{ мГн}, \\
 L_3 &= 63,5 \text{ мГн}, \\
 C_2 &= 455 \text{ мкФ}, \\
 f &= 50 \text{ Гц}.
 \end{aligned}$$

Решение. Определим комплексные значения сопротивлений в ветвях цепи в алгебраической и показательной формах:

$$\underline{Z} = R \pm jX = Ze^{\pm j\varphi}.$$

Первая ветвь содержит активное индуктивное сопротивление, которое вычисляется по формуле в алгебраической форме

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = 10 + j6 \text{ Ом}.$$

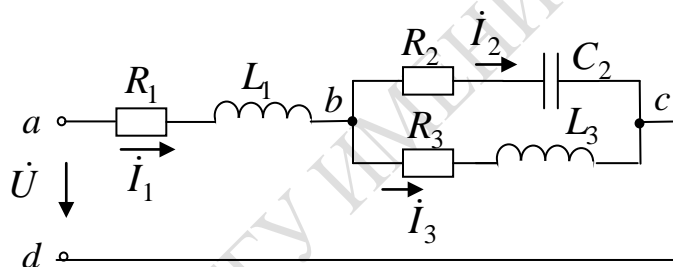


Рисунок 2.9 – Расчетная электрическая цепь

В показательной форме оно имеет вид $\underline{Z}_1 = Z_1 e^{j\varphi_1} = 11,6 e^{j31^\circ} \text{ Ом}.$

Вторая ветвь содержит активное емкостное сопротивление, которое вычисляется как

$$\underline{Z}_2 = R_2 - j \frac{1}{\omega C_2} = 24 - j7 = 25 e^{-j16^\circ} \text{ Ом}.$$

Третья ветвь содержит активное индуктивное сопротивление, которое вычисляется как

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j\omega L_3 = 15 + j20 = 25 e^{j53^\circ} \text{ Ом}.$$

Выразим заданное значение напряжения в комплексном виде:

$$\dot{U} = U e^{j0^\circ} = 120 \text{ В}.$$

Определим полное сопротивление цепи:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 = \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 25,2 + j10,8 = 26,7e^{j23^\circ} \text{ Ом}.$$

Определим токи в ветвях:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = 4,5e^{-j23^\circ} = (4,1 - j1,8) \text{ А};$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 2,7e^{j10^\circ} = (2,7 + j0,5) \text{ А};$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 2,7e^{-j58^\circ} = (1,4 - j2,3) \text{ А}.$$

Запишем формулу для определения комплекса полной мощности цепи:

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I}^* = 540e^{j23^\circ} = 540\cos 23^\circ + j540\sin 23^\circ = (497 + j211) \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Из нее определим значения активной и реактивной мощности:

$$P = 497 \text{ Вт}; \quad Q = 211 \text{ Вар}.$$

Построим векторную диаграмму и из нее определим значения напряжения $\dot{U}_{ab}, \dot{U}_{bc}$ (рисунок 2.10). Для построения векторной диаграммы необходимо выбрать масштаб для значений напряжений и токов в ветвях схемы. Начнем построение векторной диаграммы с третьей ветви. Ток $\dot{I}_3 = 2,7e^{-j58^\circ} \text{ А}$ протекает по резистору $R_3 = 15 \text{ Ом}$, вызывая на нем падение напряжения $\dot{U}_{R_3} = I_3 R_3 = 40,4e^{-j58^\circ} = (21,5 - j35) \text{ В}$, причем этот ток и напряжение совпадают по фазе. Напряжение на индуктивном сопротивлении опережает ток на 90° , и его значение равно $\dot{U}_{L_3} = I_3 R_3 = 40,4e^{-j58^\circ} = (21,5 - j35) \text{ В}$. Сложим геометрически два вектора напряжения \dot{U}_{R_3} и \dot{U}_{L_3} , получим вектор напряжения \dot{U}_{bc} , значение которого можно определить из векторной диаграммы, или так: $\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{R_3} + \dot{U}_{L_3} = 68,8e^{-j4^\circ} = (68 - j6,5) \text{ В}$.

Рассмотрим вторую схему ветви. Построим вектор тока $\dot{I}_2 = 2,7e^{j10^\circ} \text{ А}$. Так как ток и напряжение на активном сопротивлении совпадают по фазе, вычислим значение $\dot{U}_{R_2} = \dot{I}_2 R_2 = 64,8e^{j10^\circ} = (64,4 + j12,3) \text{ В}$ и построим его. На емкостном сопротивлении

напряжение отстает от тока на 90° . Вычислим и построим $\dot{U}_{C_2} = \dot{I}_2 X_{C_2} = 18,9e^{-j79^\circ} = (3,6 - j18,8) \text{ В}$. Сложим геометрически два вектора напряжения \dot{U}_{R_2} и \dot{U}_{C_2} , получим вектор напряжения \dot{U}_{bc} .

Построим первую ветвь. Ток $\dot{I}_1 = 4,5e^{-j23^\circ} \text{ А}$ протекает по резистору R_1 , вызывая на нем падение напряжения $\dot{U}_{R_1} = \dot{I}_1 R_1 = 45e^{-j23^\circ} = (41,1 - j18,2) \text{ В}$, причем этот ток и напряжение совпадают по фазе. Напряжение на индуктивном сопротивлении опережает ток на 90° , и его значение равно $\dot{U}_{L_1} = \dot{I}_1 X_{L_1} = 27e^{j67^\circ} = (24,7 - j10,9) \text{ В}$. Сложим геометрически два вектора напряжения \dot{U}_{R_1} и \dot{U}_{L_1} , получим вектор напряжения \dot{U}_{ab} , значение которого можно определить из векторной диаграммы или так: $\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{R_1} + \dot{U}_{L_1} = 68,8e^{j8^\circ} \text{ В}$. Сложив напряжения \dot{U}_{ab} и \dot{U}_{bc} , получим значение напряжения, приложенное к цепи.

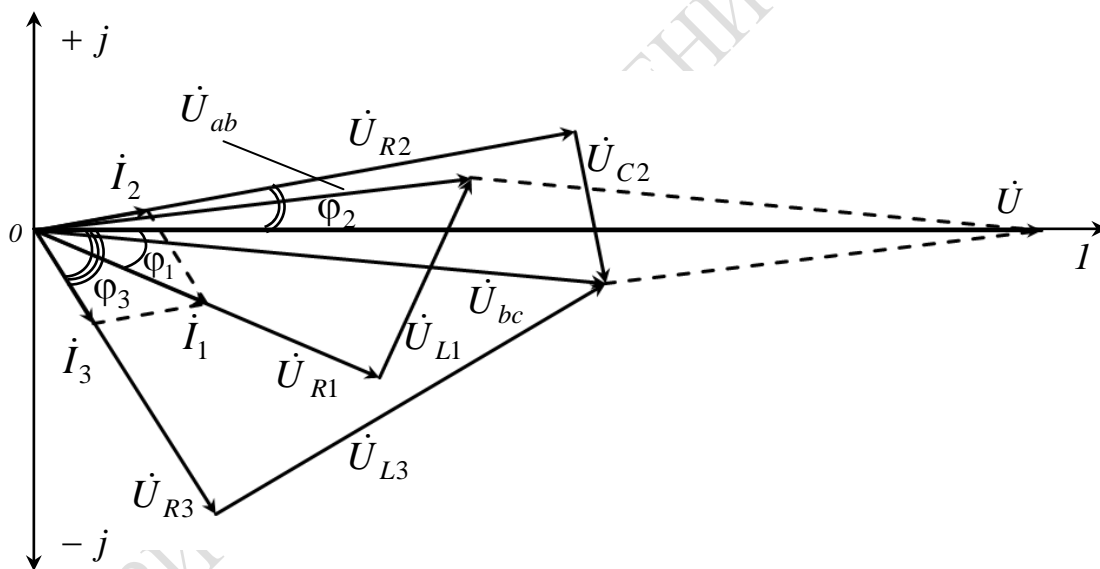


Рисунок 2.10 – Векторная диаграмма для электрической цепи рисунка 2.9

2.3 Методы расчета электрических цепей трехфазного тока

Пример 1. Для трехфазной электрической цепи рисунка 2.11 при соединении нагрузки звездой определить линейные и фазные токи, ток нулевого провода, активную, реактивную и полную мощность трехфазной цепи и построить векторную диаграмму, если известно, что

а) фазное напряжение источника:

$$U = 100 \text{ В};$$

б) сопротивления резисторов следующие:

$$R_a = 10 \text{ Ом},$$

$$R_b = 8 \text{ Ом},$$

$$R_c = 2 \text{ Ом},$$

$$X_a = 4 \text{ Ом},$$

$$X_b = 2 \text{ Ом},$$

$$X_c = 10 \text{ Ом}.$$

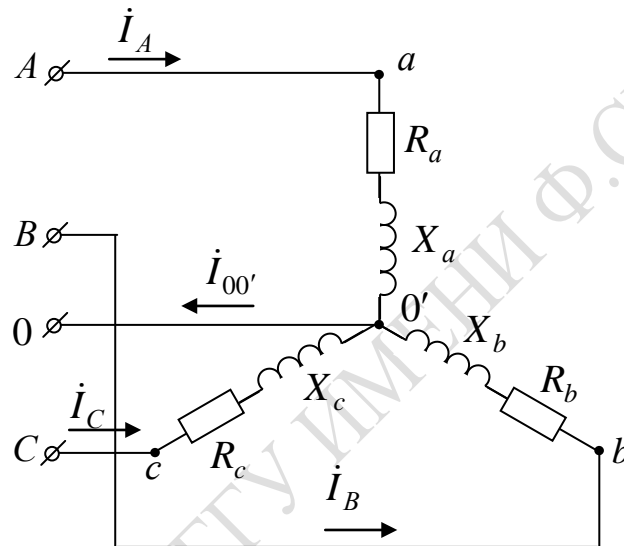


Рисунок 2.11 – Расчетная электрическая цепь

Решение. 1 Выберем направление линейных токов, зная, что они протекают от источника к нагрузке. Так как нагрузка соединена звездой, то для нее справедливо равенство $I_L = I_\Phi$.

2 По определению трехфазной системы напряжения в каждой фазе источника определим так:

$$\dot{U}_A = U_A = 100;$$

$$\dot{U}_B = U_A e^{-j120^\circ} = 100e^{-j120^\circ} = (50 - j86,6) \text{ В};$$

$$\dot{U}_C = U_A e^{j120^\circ} = 100_A e^{j120^\circ} = (-50 + j86,6) \text{ В}.$$

3 Определим сопротивления в каждой фазе нагрузки:

$$\underline{Z}_a = R_a + jX_a = 10 + j4 = 10,8e^{j22^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_b = R_b + jX_b = 8 + j2 = 8,2e^{j14^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_c = R_c + jX_c = 2 + j10 = 10,2e^{j79^\circ} \text{ Ом}.$$

4 Определим проводимости в фазах нагрузки:

$$\underline{Y}_a = \frac{1}{\underline{Z}_a} = \frac{1}{10 + j4} = 0,093e^{-j22^\circ} \text{ Ом}^{-1};$$

$$\underline{Y}_b = \frac{1}{\underline{Z}_b} = \frac{1}{8 + j2} = 0,12e^{-j14^\circ} \text{ Ом}^{-1};$$

$$\underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_c} = \frac{1}{2 + j10} = 0,098e^{-j79^\circ} \text{ Ом}^{-1}.$$

5 Определим напряжение между нейтральными точками 0 и 0' по методу двух узлов:

$$\dot{U}_{00'} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_a + \dot{U}_B \underline{Y}_b + \dot{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_{00'}} = (6,7 - j3,8) = 7,7e^{-j30^\circ} \text{ В}.$$

6 Найдем напряжения на фазах нагрузки через напряжения на фазах приемника и напряжение нулевого провода:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{00'} = (93,3 + j3,8) = 93,4e^{j2^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{00'} = (-56,7 - j82,8) = 100,4e^{j56^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{00'} = (-56,7 + j90,4) = 106,7e^{-j58^\circ} \text{ В}.$$

7 Зная напряжения на фазах нагрузки, определим токи, учитывая, что для нагрузки, соединенной звездой, справедливо равенство $I_{\text{Л}} = I_\Phi$:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a} = (\dot{U}_A - \dot{U}_{00'}) \underline{Y}_a = (8,2 - j2,9) = 8,7e^{-j20^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b} = (\dot{U}_B - \dot{U}_{00'}) \underline{Y}_b = (-9,1 - j8,1) = 12,2e^{j42^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c} = (\dot{U}_C - \dot{U}_{00'}) \underline{Y}_c = (7,6 + j7,2) = 10,5e^{-j137^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_{00'} = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = (6,7 - j3,8) = 7,7e^{-j30^\circ} \text{ А}.$$

8 Вычислим комплекс полной мощности трехфазной цепи:

$$\tilde{S} = \dot{U}_A \dot{I}_A^* + \dot{U}_B \dot{I}_B^* + \dot{U}_C \dot{I}_C^* = (2156 + j1691) \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Из полученных значений для комплекса полной мощности цепи можно определить значения активной мощности $P = 2156 \text{ Вт}$ и значения реактивной мощности $Q = 1691 \text{ Вар}$ трехфазной цепи.

9 Построим векторную диаграмму. Для построения векторной диаграммы необходимо выбрать масштаб для значений токов и напряжений, причем масштабы для токов и напряжений необязательно должны быть одинаковыми. Построим на векторной диаграмме напряжения на каждой фазе источника, учитывая, что источник симметричный и сдвиг фаз составляет между фазами 120° . Построим значение напряжения нулевого провода. Из значений напряжений на фазах источника и значения нулевого провода определим из векторной диаграммы с учетом выбранного масштаба значения напряжения на фазах нагрузки. Сравним рассчитанные значения напряжений на фазах нагрузки и полученные из векторной диаграммы. На векторной диаграмме построим значения токов. Построенная диаграмма приведена на рисунке 2.12.

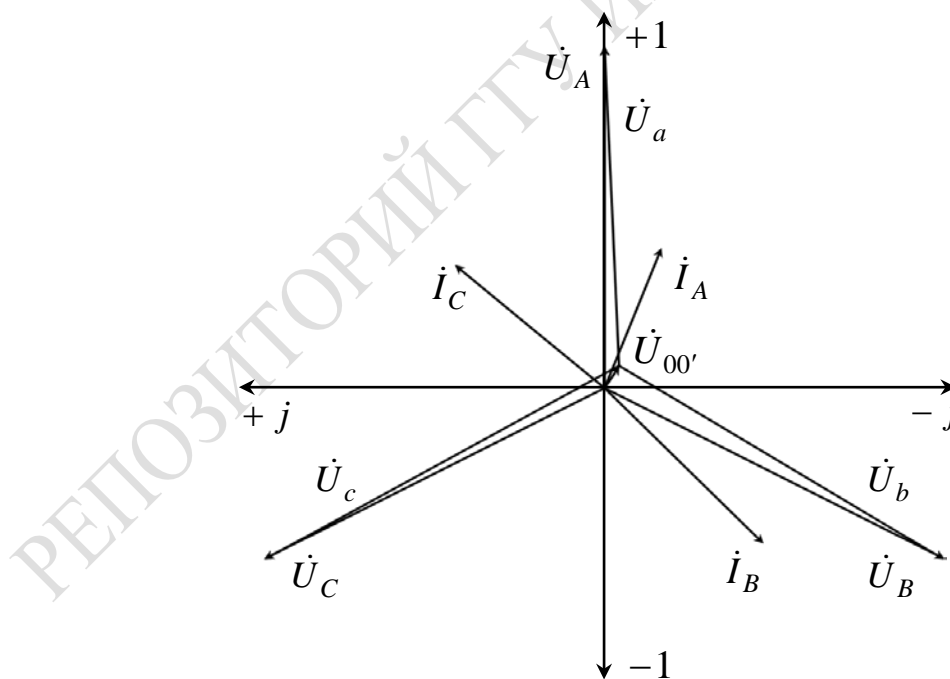


Рисунок 2.12 – Векторная диаграмма для электрической цепи рисунка 2.11

Пример 2. Для трехфазной электрической цепи рисунка 2.13 при соединении нагрузки треугольником определить линейные и фазные

токи, активную, реактивную и полную мощность трехфазной цепи и построить векторную диаграмму, если известно, что

а) линейное напряжение источника:

$$U = 127 \text{ В};$$

б) сопротивления резисторов:

$$R_a = 4 \text{ Ом},$$

$$R_b = 12 \text{ Ом},$$

$$R_c = 6 \text{ Ом},$$

$$X_a = 8 \text{ Ом},$$

$$X_b = 2 \text{ Ом},$$

$$X_c = 4 \text{ Ом}.$$

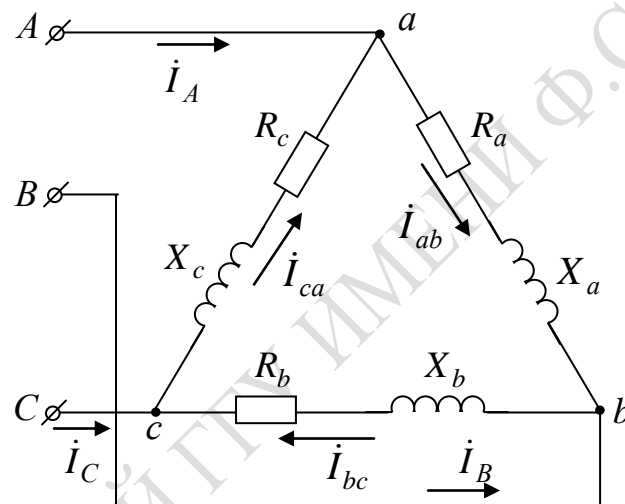


Рисунок 2.13 – Расчетная электрическая цепь

Решение. 1 Выберем направление линейных и фазных токов. Для нагрузки, соединенной треугольником, напряжения $U_{\text{л}} = U_{\phi}$.

2 По определению трехфазной системы напряжения в каждой фазе источника определим так:

$$\dot{U}_{AB} = U = 127 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{BC} = U e^{-j120^\circ} = 127 e^{-j120^\circ} = (-63,5 - j110) \text{ В};$$

$$\dot{U}_{CA} = U e^{j120^\circ} = 127 e^{j120^\circ} = (-63,5 + j110) \text{ В}.$$

3 Вычислим сопротивления в каждой фазе нагрузки:

$$\underline{Z}_a = R_a + jX_a = 4 + j8 = 8,9 e^{j63^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_b = R_b + jX_b = 12 + j2 = 12,2e^{j10^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_c = R_c + jX_c = 6 + j4 = 7,2e^{j34^\circ} \text{ Ом}.$$

4 Зная сопротивление фаз приемника, вычислим фазные токи по закону Ома, учитывая, что $U_{AB} = U_{ab}$; $U_{BC} = U_{bc}$; $U_{CA} = U_{ca}$:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}} = 6,4 - j12,7 = 14,2e^{j63^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}} = -6,6 - j8,1 = 10,5e^{-j129^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}} = 1,1 + j18 = 18e^{j87^\circ} \text{ А}.$$

5 Применяя первое правило Кирхгофа к узловым точкам a , b , c , вычислим линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca} = 5,3 + j30,7 = 32,2e^{-j80^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab} = -13 + j4,6 = 13,8e^{j161^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc} = 17,7 + j26,1 = 31,5e^{j56^\circ} \text{ А}.$$

6 Вычислим комплекс полной мощности трехфазной цепи:

$$\tilde{S} = \dot{U}_A \dot{I}_A^* + \dot{U}_B \dot{I}_B^* + \dot{U}_C \dot{I}_C^* = (3303 + j8050) \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Активную мощность трехфазной цепи вычислим так:

$$P = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C = 3303 \text{ Вт}.$$

Реактивную мощность трехфазной цепи вычислим так:

$$Q = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C = 8050 \text{ Вар}.$$

7 Построим векторную диаграмму. Для ее построения необходимо выбрать масштаб для значений токов и напряжений, причем масштабы для токов и напряжений необязательно должны быть одинаковыми. Построим на векторной диаграмме напряжения, на каждой фазе источника, учитывая, что источник симметричный и сдвиг фаз составляет 120° , то есть необходимо построить следующие значения напряжений:

$$\dot{U}_A = U_A = 127 \text{ В};$$

$$\dot{U}_B = U_A e^{-j120^\circ} = 127 e^{-j120^\circ} = (-63,5 - j110) \text{ В};$$

$$\dot{U}_C = U_A e^{j120^\circ} = 127 e^{j120^\circ} = (-63,5 + j110) \text{ В}.$$

Затем построим вычисленные значения токов на фазах приемника $\dot{I}_{ab} = 14,2 e^{j63^\circ} \text{ А}$; $\dot{I}_{bc} = 10,5 e^{-j129^\circ} \text{ А}$; $\dot{I}_{ca} = 18 e^{j87^\circ} \text{ А}$. Учитывая связь между фазными и линейными токами на основании первого правила Кирхгофа, построим линейные токи на векторной диаграмме $\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}$; $\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}$; $\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}$ и, учитывая выбранный масштаб, определим значения линейных токов по векторной диаграмме, которые должны совпасть с вычисленными ранее. Сравним эти значения. Построенная диаграмма приведена на рисунке 2.14.

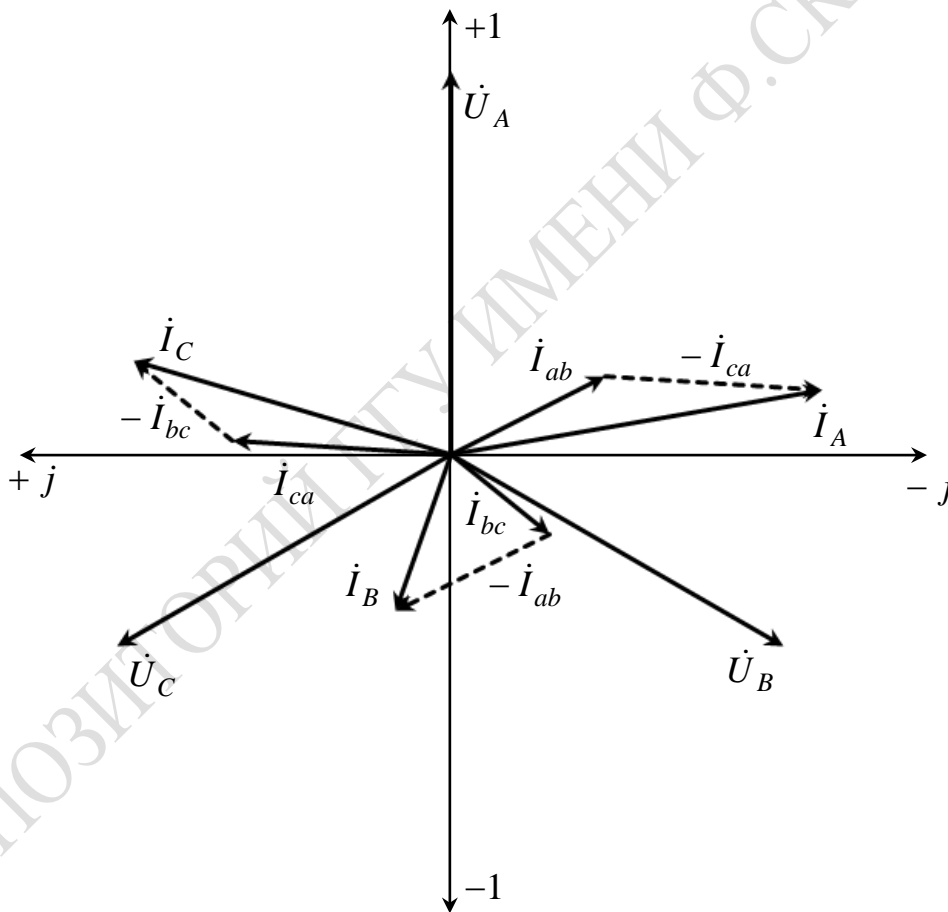


Рисунок 2.14 – Векторная диаграмма для электрической цепи рисунка 2.13

3 Контрольная работа 1

Расчет сложных цепей постоянного тока

Для электрических цепей, схемы которых приведены на рисунках 3.1–3.50 и для заданных в таблице 3.1 значений ЭДС и сопротивлений резисторов, вычислить следующими методами:

- действующие значения токов по первому и второму правилам Кирхгофа;
- действующие значения токов по методу контурных токов;
- перерисовать схему, исключая источники ЭДС E_2, E_3 , рассчитать действующие значения токов в полученной схеме с одним источником ЭДС (ЭДС E_1), применив «метод свертки»;
- перерисовать схему, исключив источник ЭДС E_3 , и для электрической цепи с ЭДС E_1, E_2 рассчитать действующие значения токов, применив метод наложения;
- упростить схему, заменив треугольник сопротивлений R_4, R_5, R_6 эквивалентной звездой. Начертить полученную схему и рассчитать действующие значения токов в полученной схеме, применив метод узловых потенциалов;
- определить ток в резисторе R_6 методом эквивалентного генератора.

Примечание. – При выполнении контрольной работы необходимо использовать раздел 1.1 основных сведений из теории электрических цепей, а также примеры решения типовых задач из раздела 2.1.

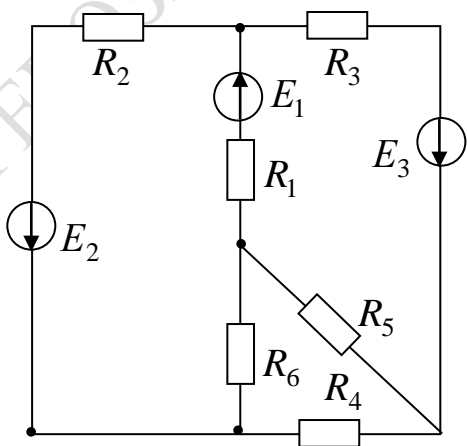


Рисунок 3.1

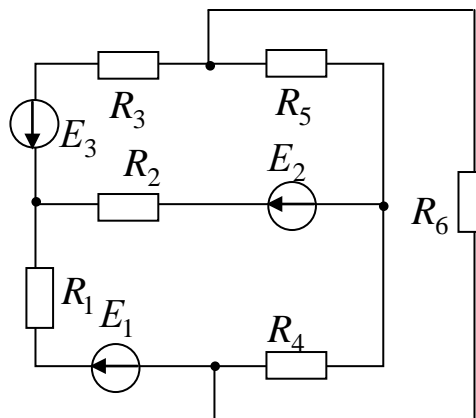


Рисунок 3.2

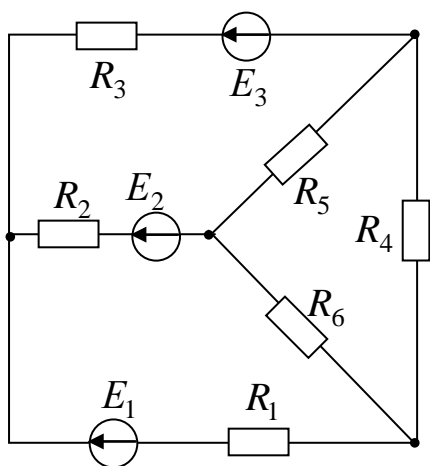


Рисунок 3.3

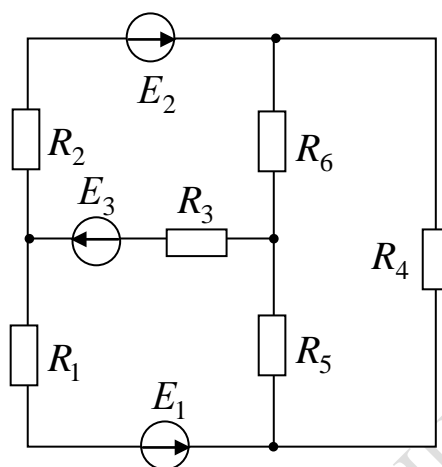


Рисунок 3.4

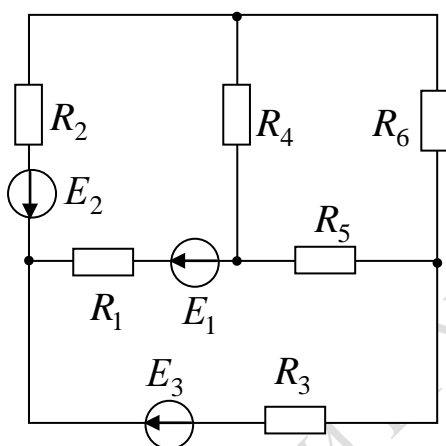


Рисунок 3.5

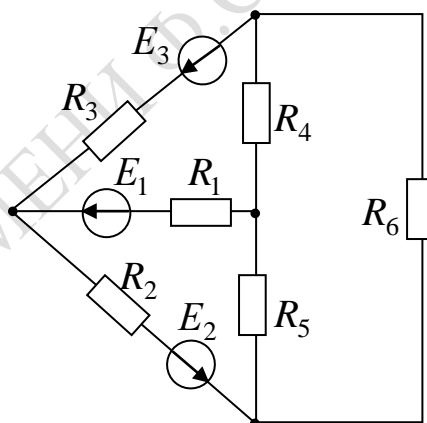


Рисунок 3.6

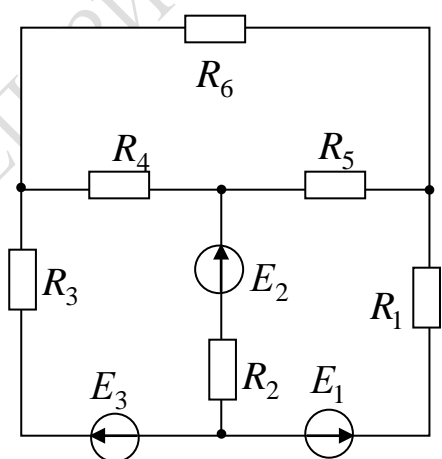


Рисунок 3.7

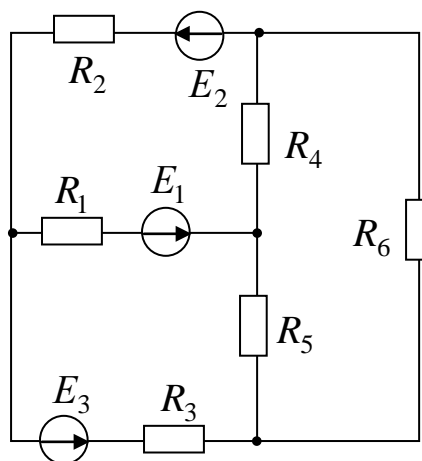


Рисунок 3.8

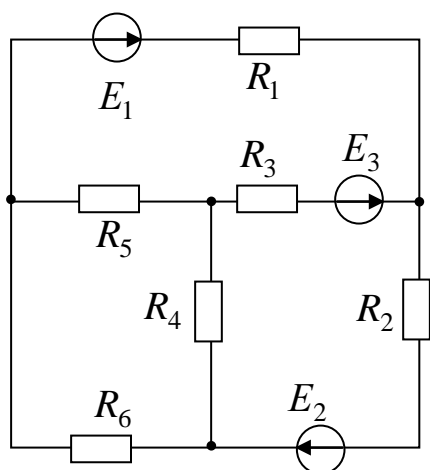


Рисунок 3.9

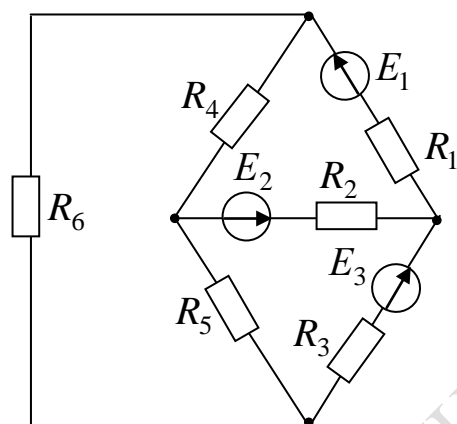


Рисунок 3.10

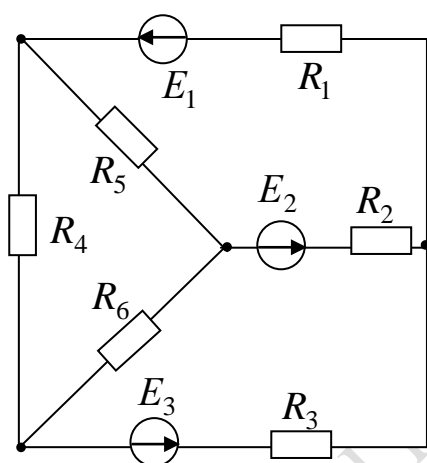


Рисунок 3.11

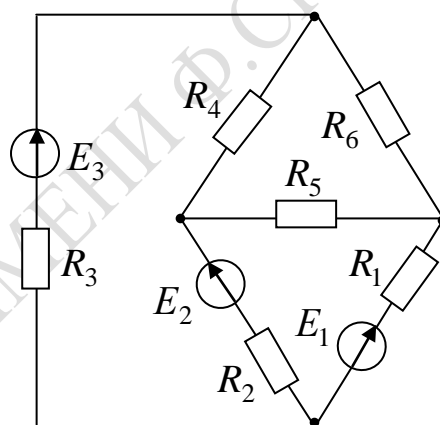


Рисунок 3.12

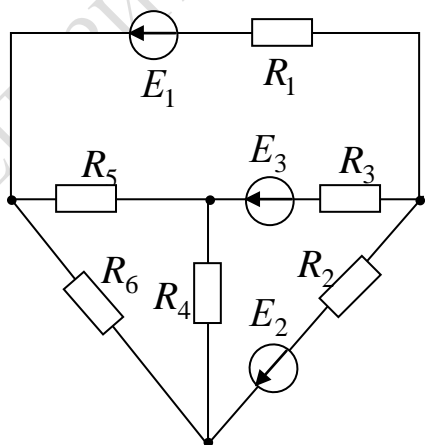


Рисунок 3.13

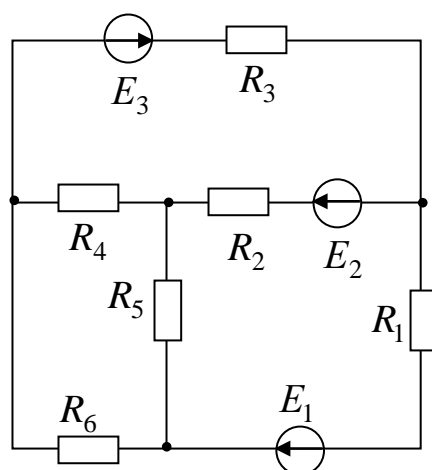


Рисунок 3.14

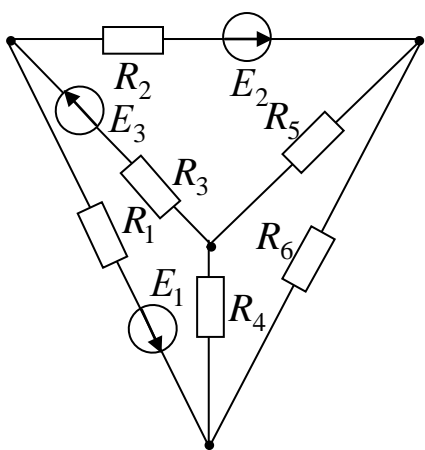


Рисунок 3.15

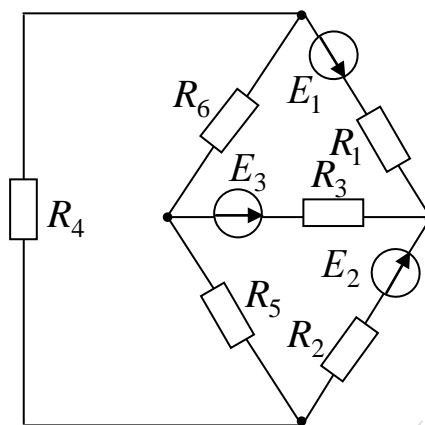


Рисунок 3.16

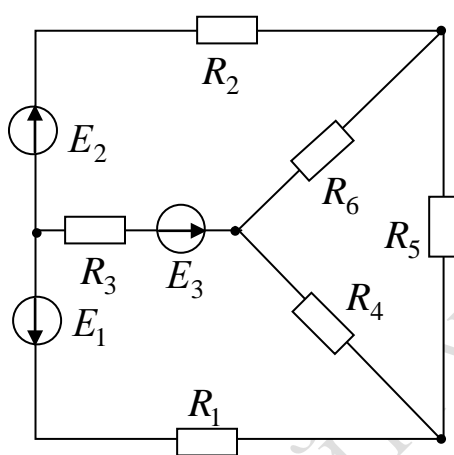


Рисунок 3.17

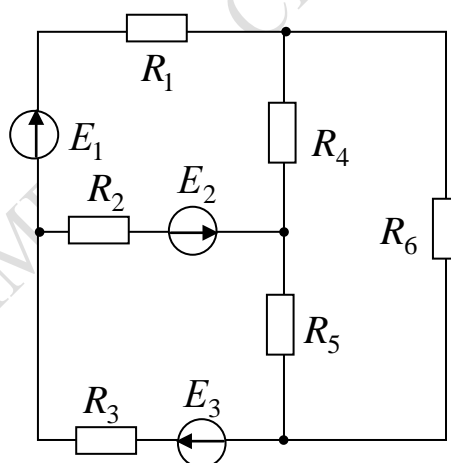


Рисунок 3.18

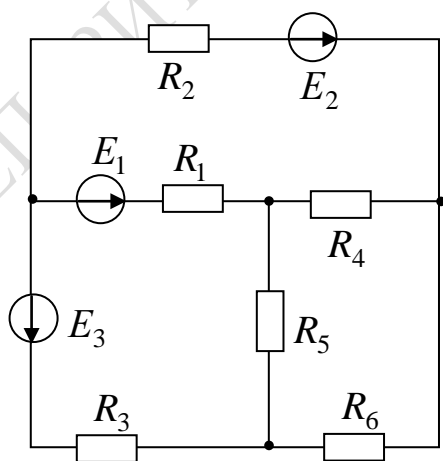


Рисунок 3.19

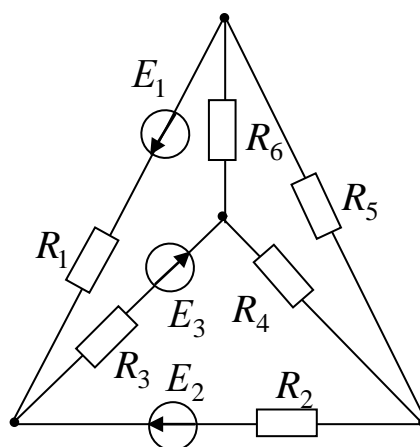


Рисунок 3.20

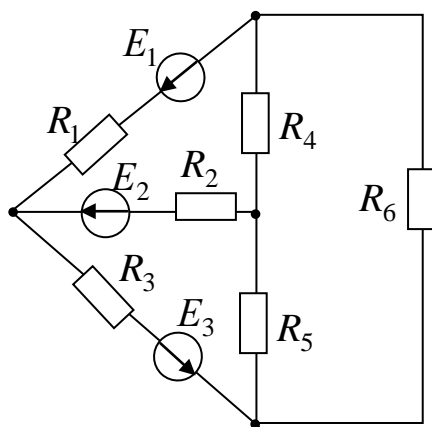


Рисунок 3.21

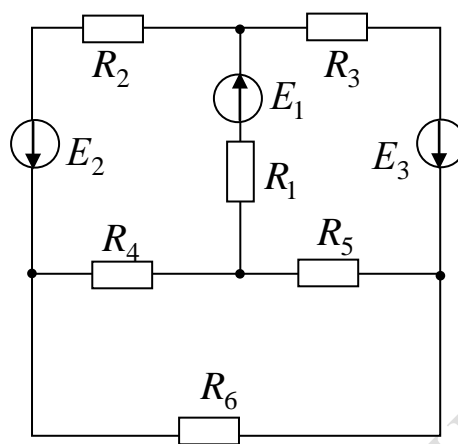


Рисунок 3.22

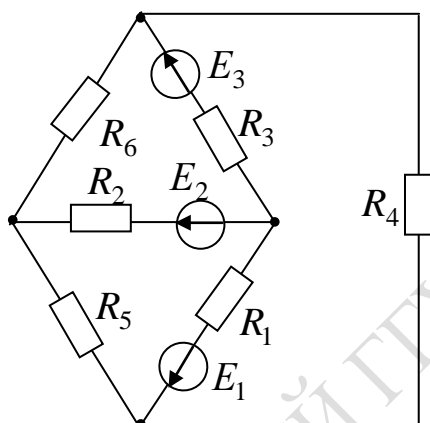


Рисунок 3.23

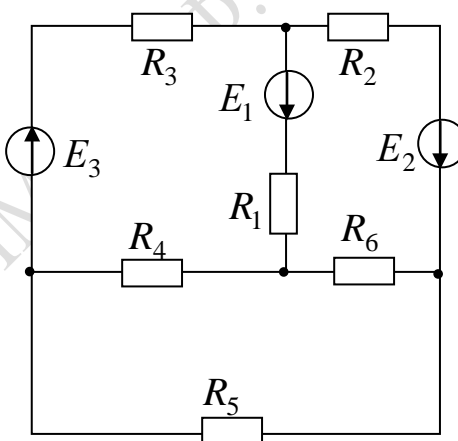


Рисунок 3.24

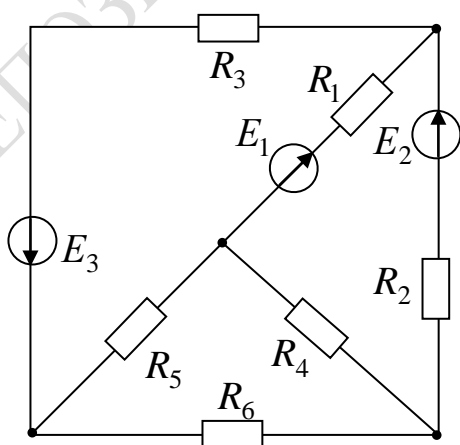


Рисунок 3.25

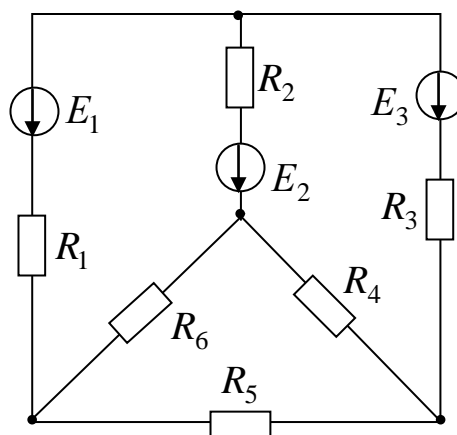


Рисунок 3.26

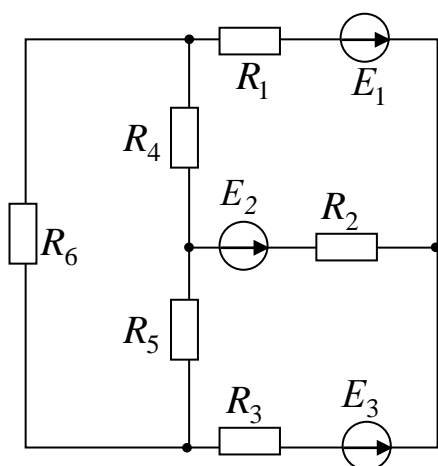


Рисунок 3.27

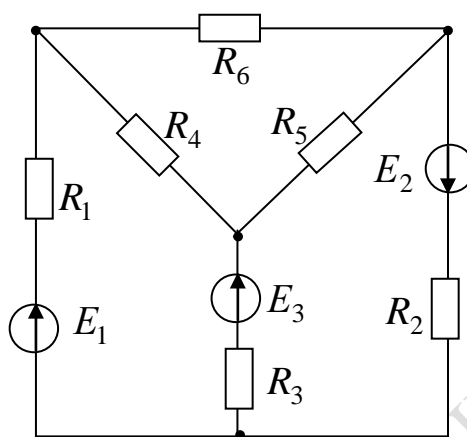


Рисунок 3.28

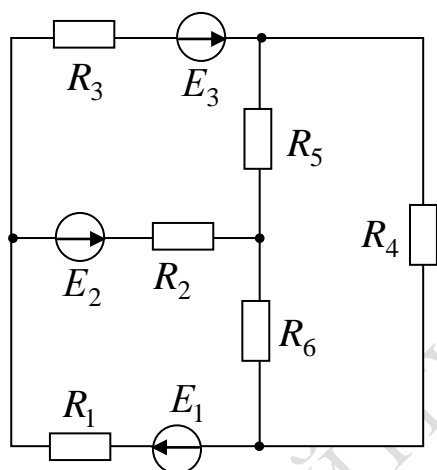


Рисунок 3.29

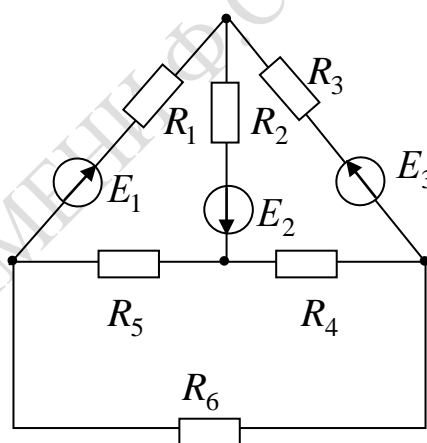


Рисунок 3.30

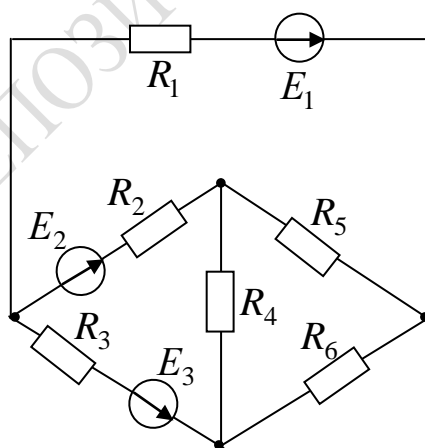


Рисунок 3.31

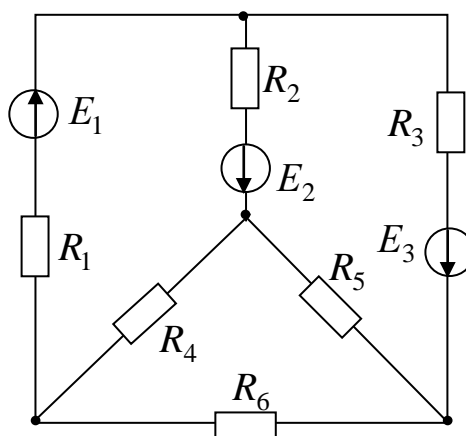


Рисунок 3.32

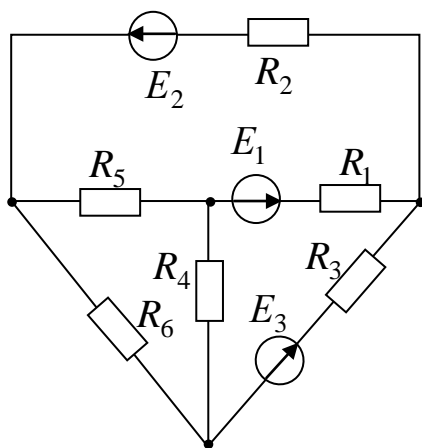


Рисунок 3.33

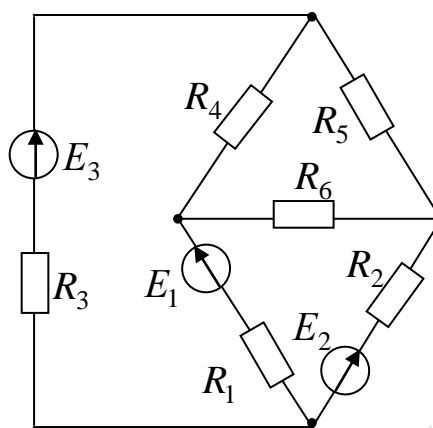


Рисунок 3.34

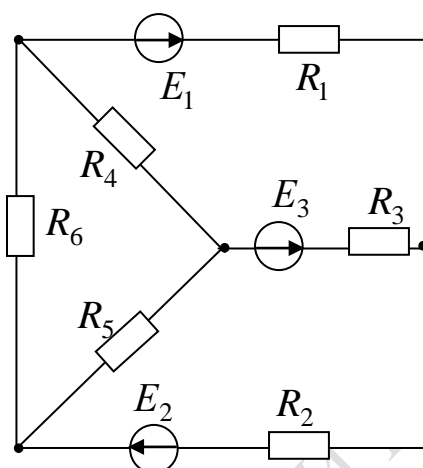


Рисунок 3.35

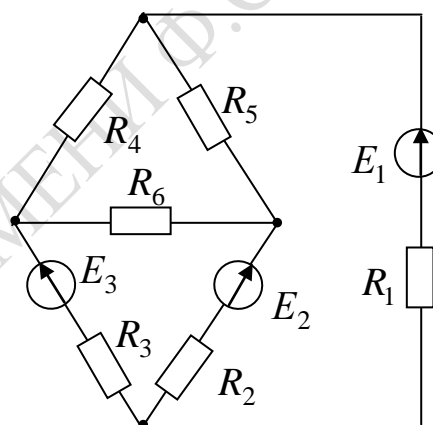


Рисунок 3.36

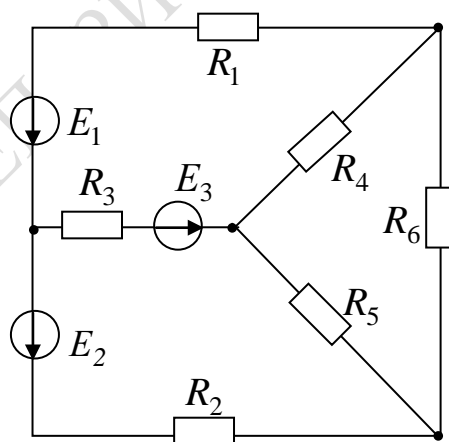


Рисунок 3.37

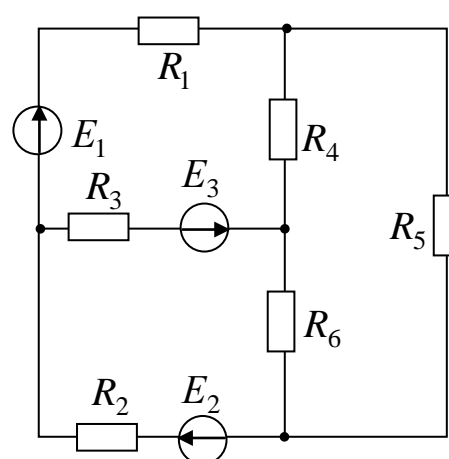


Рисунок 3.38

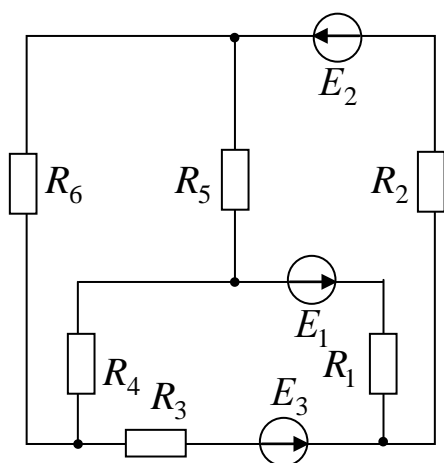


Рисунок 3.39

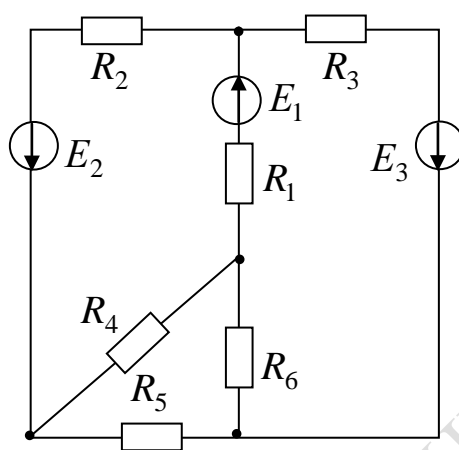


Рисунок 3.40

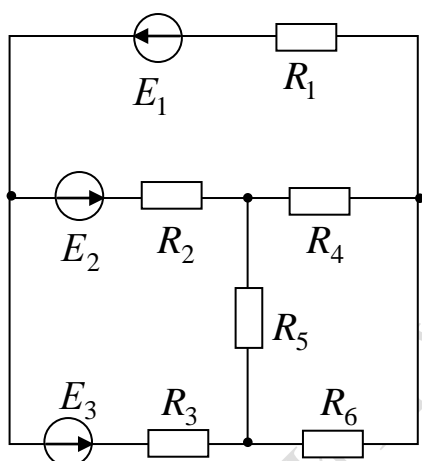


Рисунок 3.41

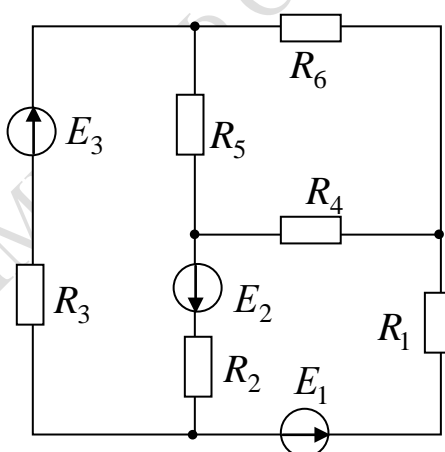


Рисунок 3.42

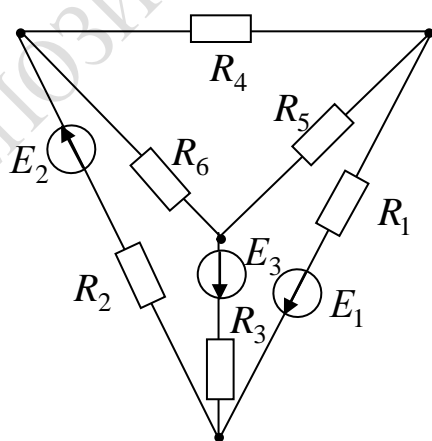


Рисунок 3.43

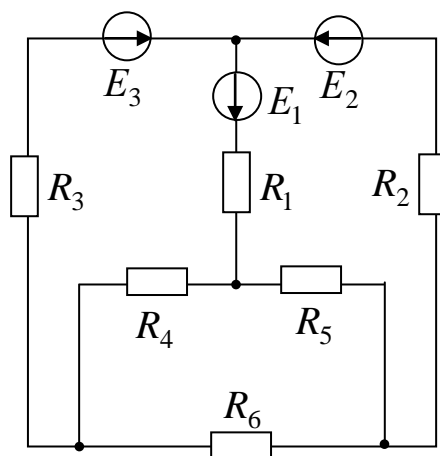


Рисунок 3.44

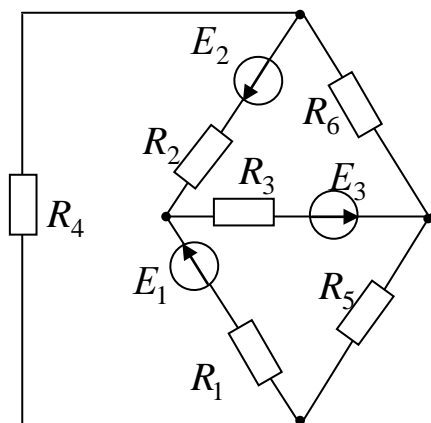


Рисунок 3.45

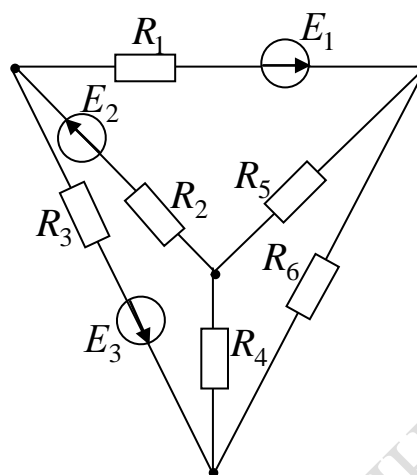


Рисунок 3.46

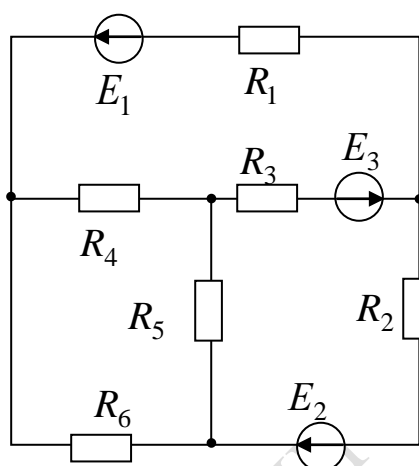


Рисунок 3.47

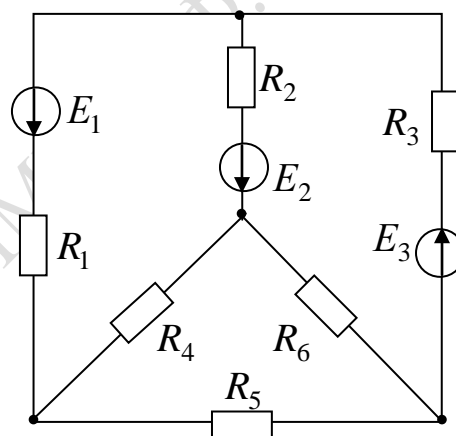


Рисунок 3.48

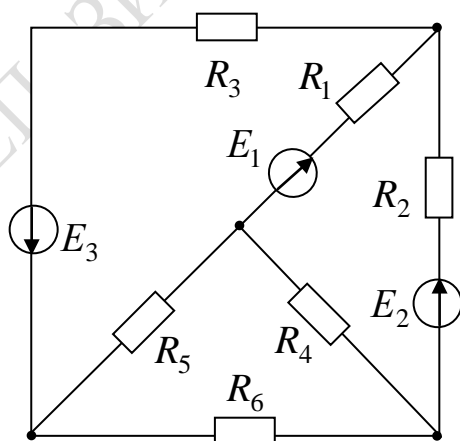


Рисунок 3.49

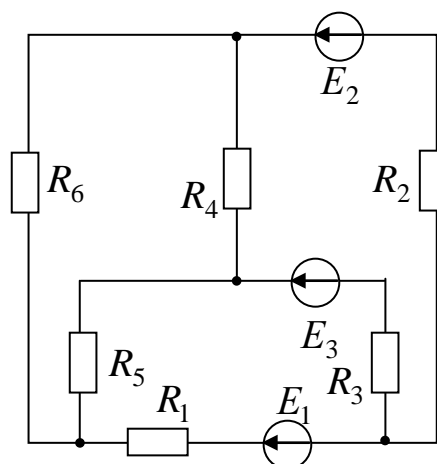


Рисунок 3.50

Таблица 3.1 – Значения ЭДС и сопротивлений резисторов для цепей, схемы которых приведены на рисунках 3.1–3.50

Номер варианта	Номер рисунка	$E_1,$ B	$E_2,$ B	$E_3,$ B	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_4,$ Ом	$R_5,$ Ом	$R_6,$ Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3.1	24	10	6	4	10	6	2	6	3
2	3.2	55	18	4	2	4	4	8	12	8
3	3.3	36	10	25	1	2	7	2	4	5
4	3.4	16	5	36	4	10	5	6	8	6
5	3.5	14	25	28	2	2	6	4	9	12
6	3.6	20	22	0	3	8	4	10	6	8
7	3.7	10	6	24	3	5	6	6	3	1
8	3.8	6	20	4	4	6	4	4	3	3
9	3.9	21	4	10	5	7	2	8	1	1
10	3.10	4	9	18	7	10	4	8	10	2
11	3.11	4	24	6	9	8	6	6	10	4
12	3.12	16	8	9	5	6	6	5	10	5
13	3.13	48	12	6	2	4	2	12	6	2
14	3.14	12	36	12	5	5	1	5	6	9
15	3.15	12	6	40	2	3	8	5	7	8
16	3.16	8	6	36	3	2	1	6	8	6
17	3.17	72	12	4	6	1	10	4	12	4
18	3.18	12	48	6	2	1	4	15	2	2
19	3.19	12	30	9	3	2	3	3	1	3
20	3.20	9	6	27	4	2	8	13	4	3
21	3.21	15	63	6	5	3	1	2	12	3
22	3.22	54	27	3	8	3	1	4	2	2
23	3.23	36	9	24	3	4	2	1	5	1
24	3.24	3	66	9	1	4	2	2	7	3
25	3.25	12	30	25	1	5	1	1	6	4
26	3.26	30	16	10	2	5	3	1	8	5
27	3.27	10	32	10	1	6	1	7	1	5
28	3.28	5	10	36	1	6	3	2	2	2
29	3.29	40	25	8	3	3	2	4	3	2
30	3.30	8	40	10	5	3	3	3	2	1
31	3.31	22	24	10	2	1	8	4	10	6
32	3.32	55	18	4	8	4	3	2	4	4
33	3.33	36	10	25	4	8	3	1	2	7
34	3.34	16	5	32	9	3	2	4	1	5
35	3.35	14	25	28	5	2	8	2	2	6
36	3.36	5	16	30	6	4	3	2	5	3

Окончание таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
37	3.37	10	6	24	5	5	6	6	3	1
38	3.38	6	20	4	4	6	4	4	3	3
39	3.39	21	4	10	5	7	2	8	1	1
40	3.40	4	9	18	7	10	4	8	10	2
41	3.41	4	4	6	8	1	6	10	4	5
42	3.42	16	8	9	2	6	6	5	10	5
43	3.43	48	12	6	4	4	2	12	6	2
44	3.44	12	36	12	5	5	1	5	6	9
45	3.45	12	6	40	2	3	8	5	7	8
46	3.46	20	24	36	6	8	10	5	12	5
47	3.47	60	22	48	10	6	16	8	12	7
48	3.48	16	10	30	3	4	6	10	12	16
49	3.49	25	22	24	18	16	10	4	8	16
50	3.50	30	10	5	4	6	8	8	6	4

4 К онтрольная работа 2

Расчет электрических цепей однофазного синусоидального тока

Для электрических цепей, схемы которых приведены на рисунках 4.1–4.50, и заданных в таблице 4.1 значений ЭДС, сопротивлений резисторов, индуктивностей, емкостей и частоты вычислить комплексные значения токов в ветвях, значения комплекса полной мощности и построить векторные диаграммы.

Примечание. – При выполнении контрольной работы необходимо использовать основные сведения из теории электрических цепей, раздел 1.2, а также примеры решения типовых задач из раздела 2.2.

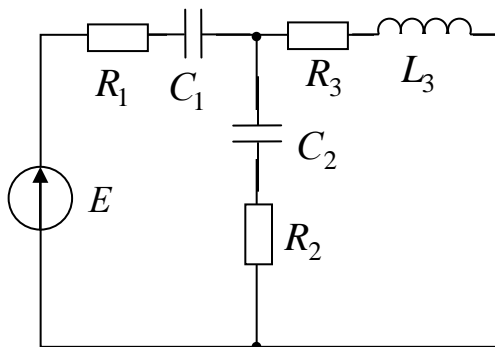


Рисунок 4.1

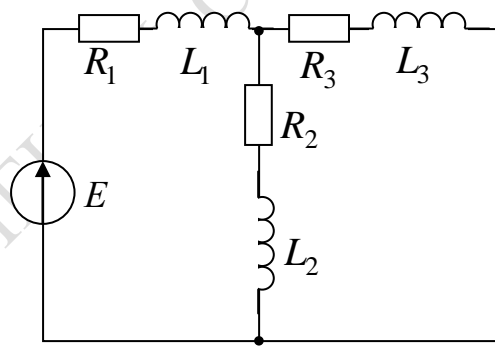


Рисунок 4.2

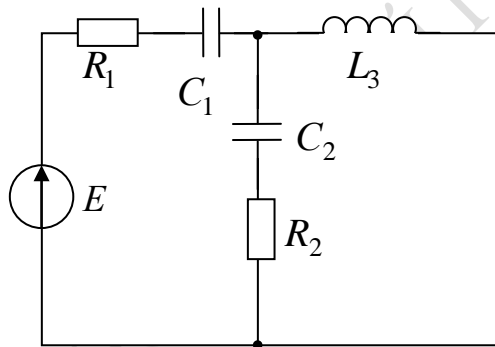


Рисунок 4.3

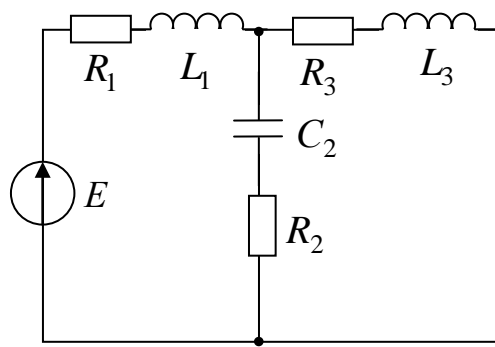


Рисунок 4.4

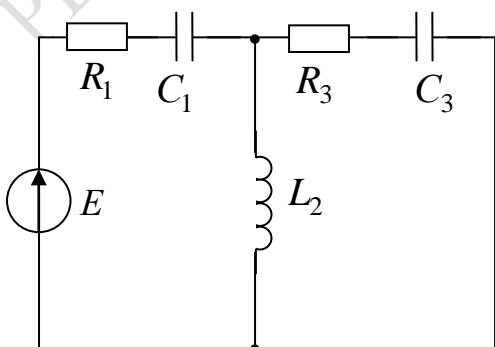


Рисунок 4.5

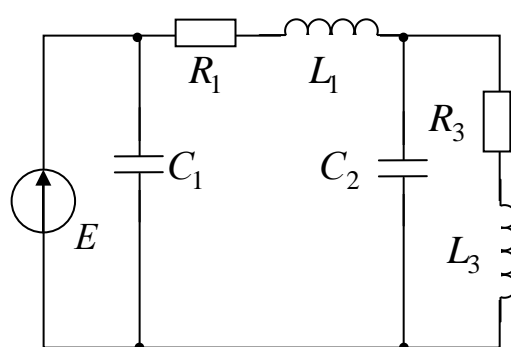


Рисунок 4.6

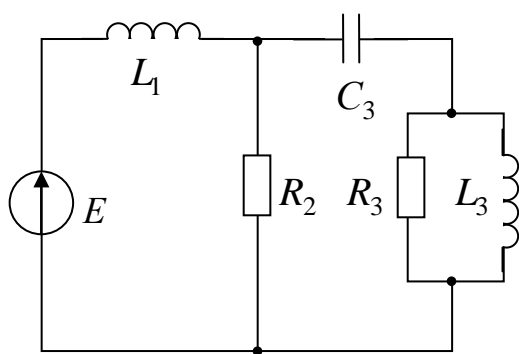


Рисунок 4.7

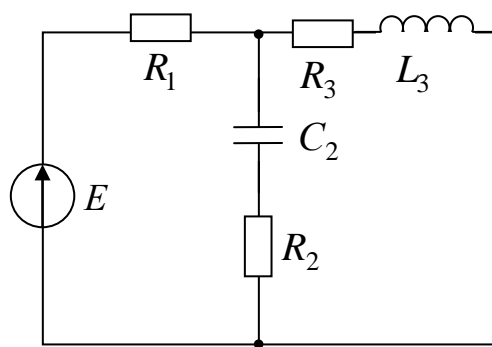


Рисунок 4.8

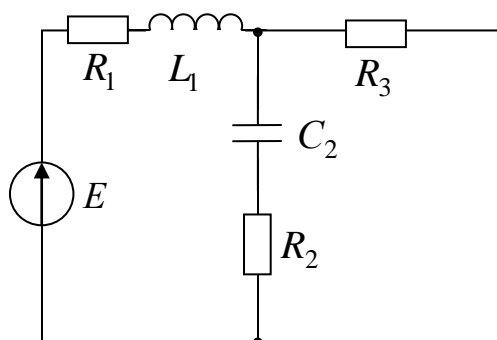


Рисунок 4.9

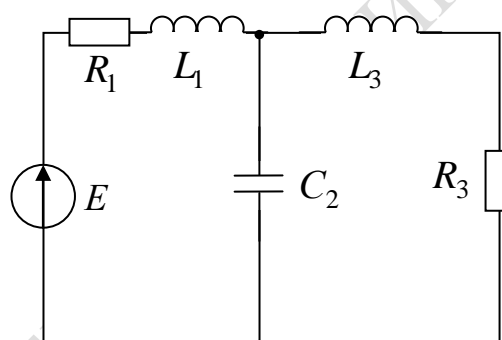


Рисунок 4.10

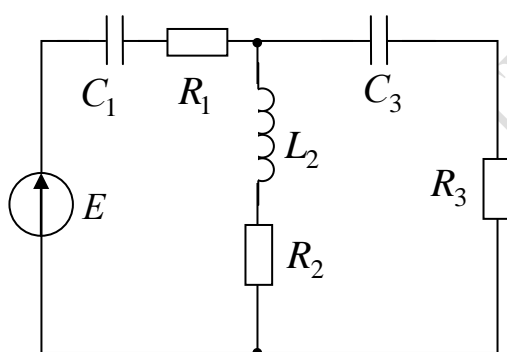


Рисунок 4.11

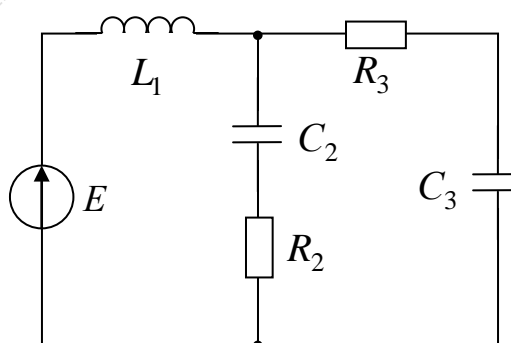


Рисунок 4.12

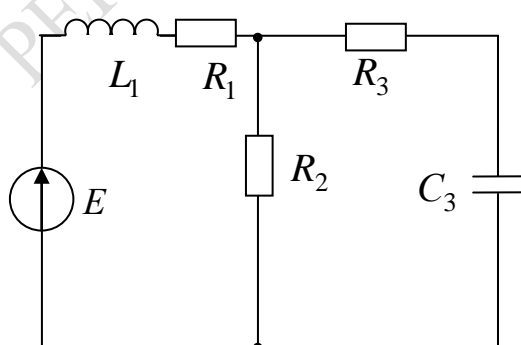


Рисунок 4.13

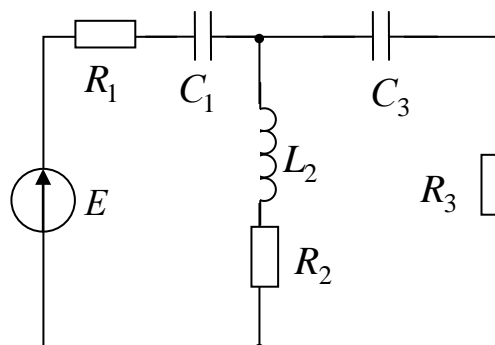


Рисунок 4.14

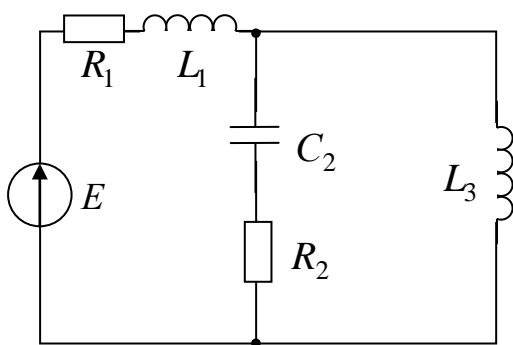


Рисунок 4.15

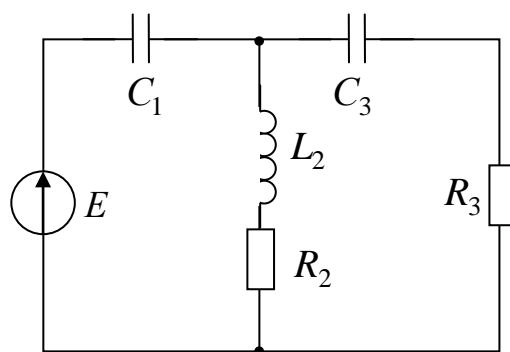


Рисунок 4.16

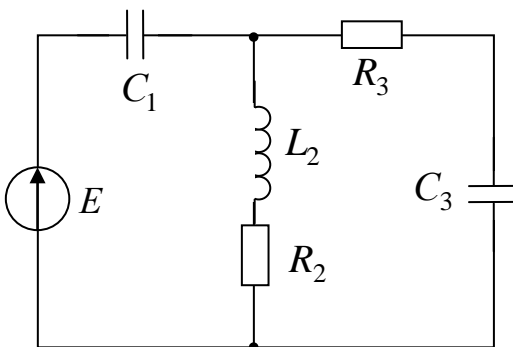


Рисунок 4.17

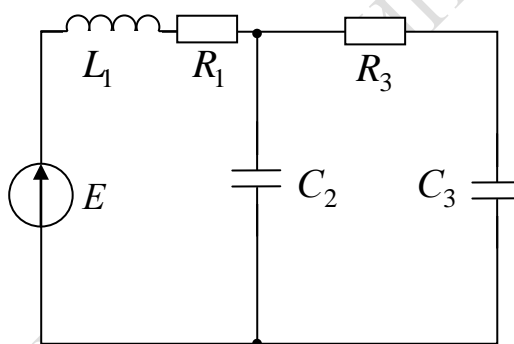


Рисунок 4.18

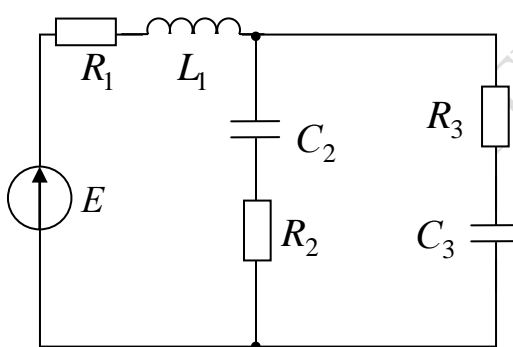


Рисунок 4.19

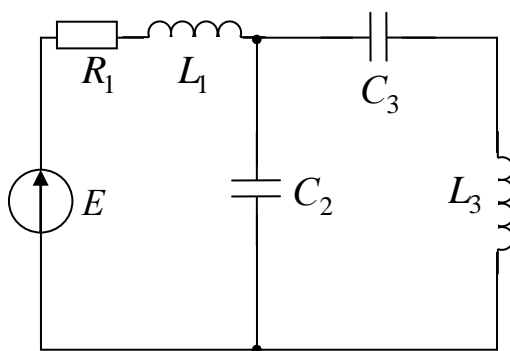


Рисунок 4.20

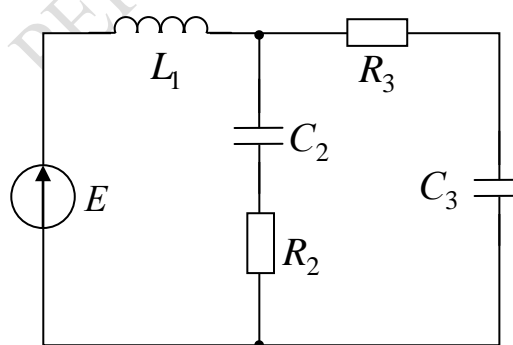


Рисунок 4.21

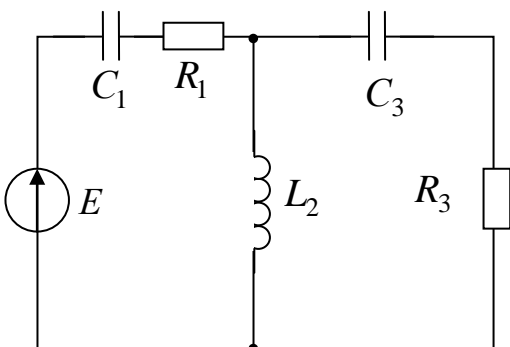


Рисунок 4.22

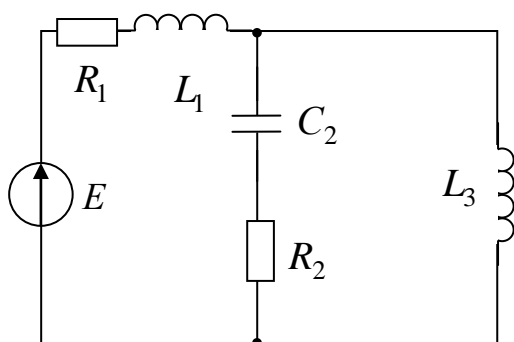


Рисунок 4.23

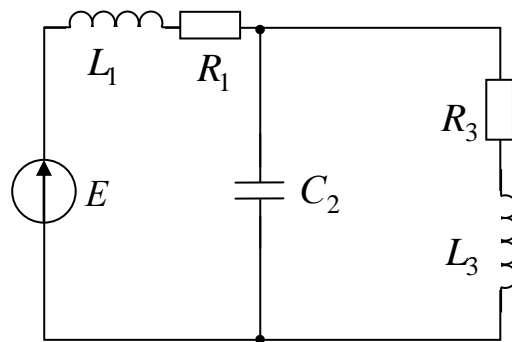


Рисунок 4.24

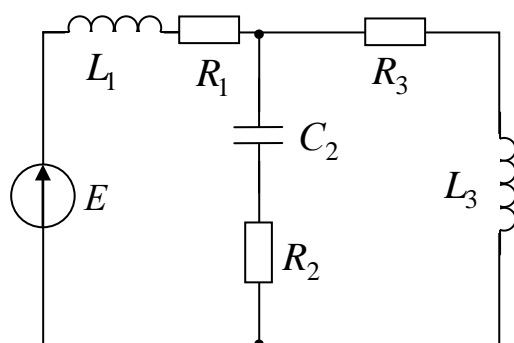


Рисунок 4.25

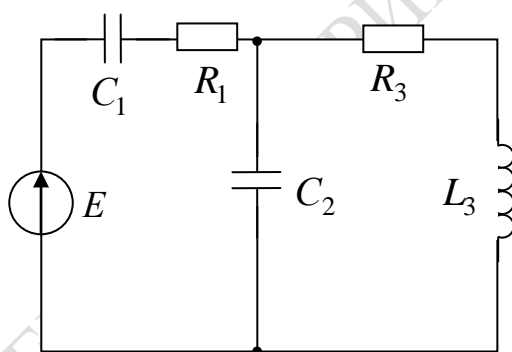


Рисунок 4.26

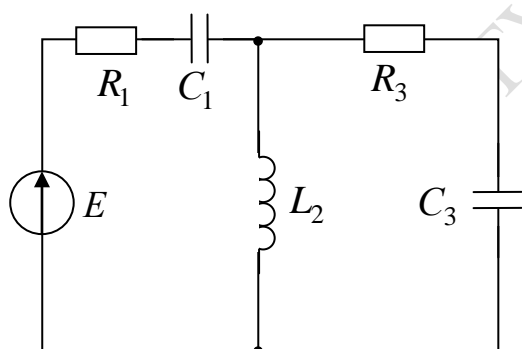


Рисунок 4.27

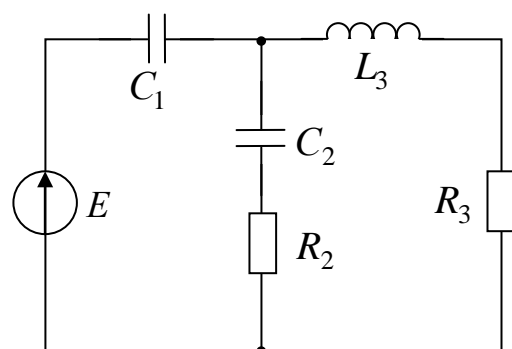


Рисунок 4.28

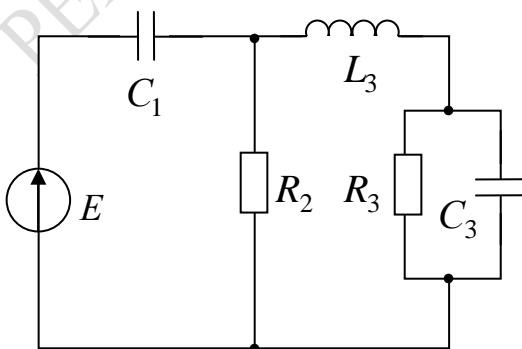


Рисунок 4.29

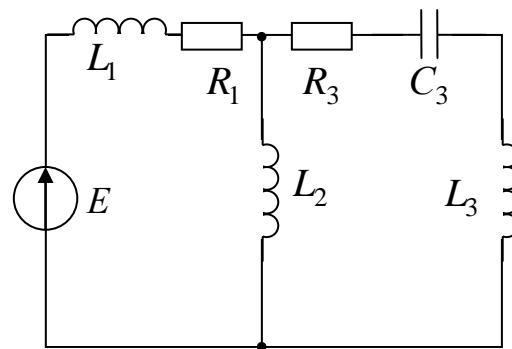


Рисунок 4.30

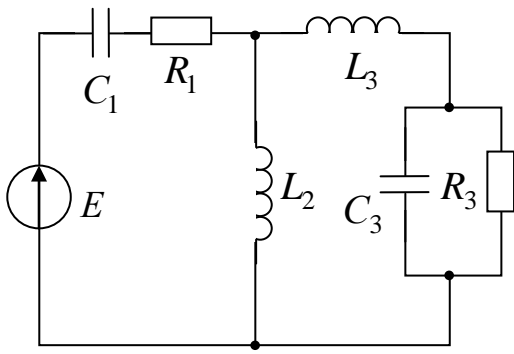


Рисунок 4.31

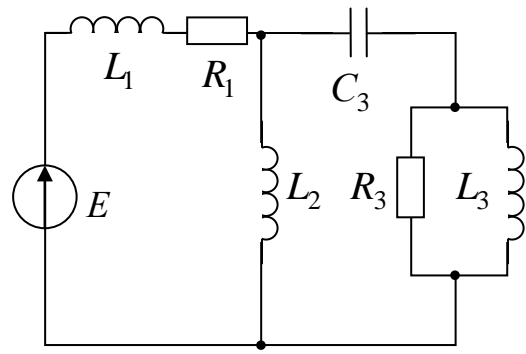


Рисунок 4.32

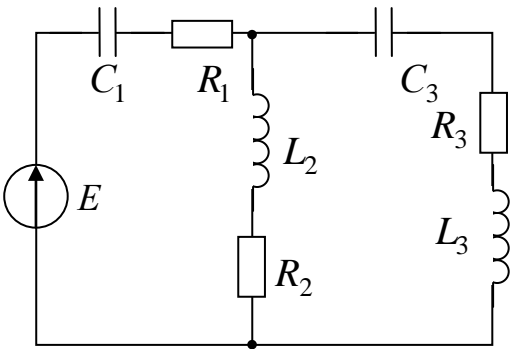


Рисунок 4.33

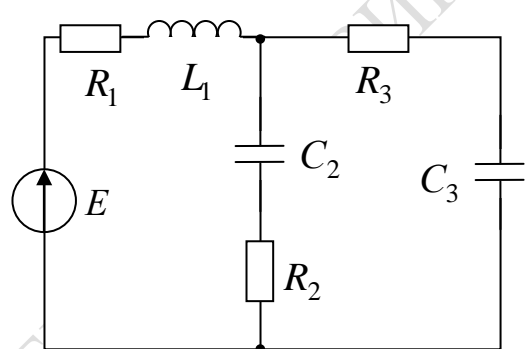


Рисунок 4.34

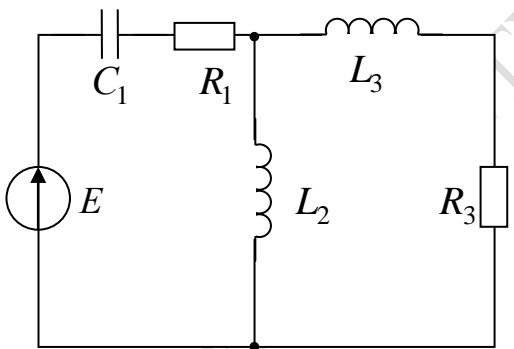


Рисунок 4.35

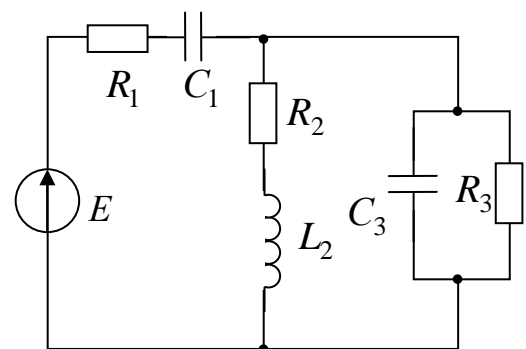


Рисунок 4.36

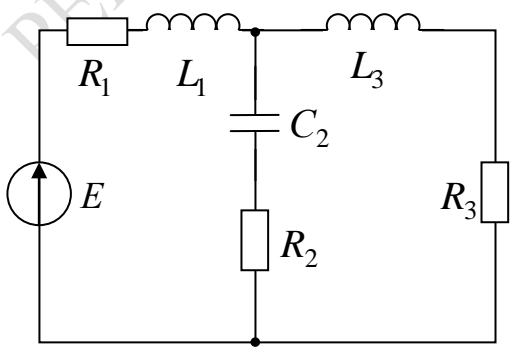


Рисунок 4.37

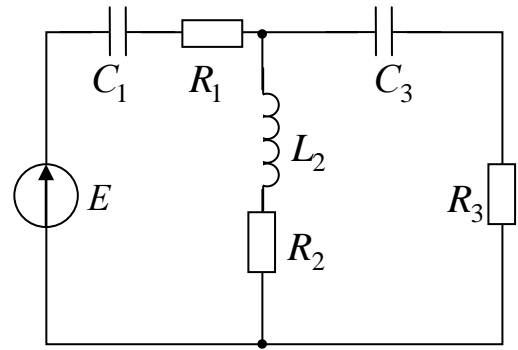


Рисунок 4.38

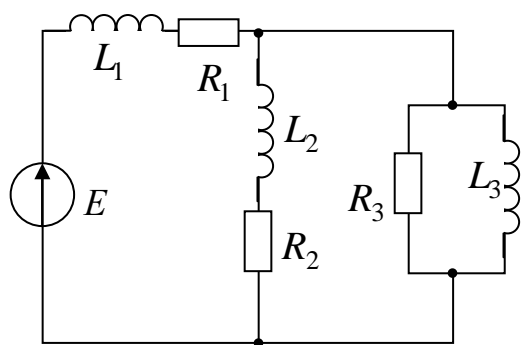


Рисунок 4.39

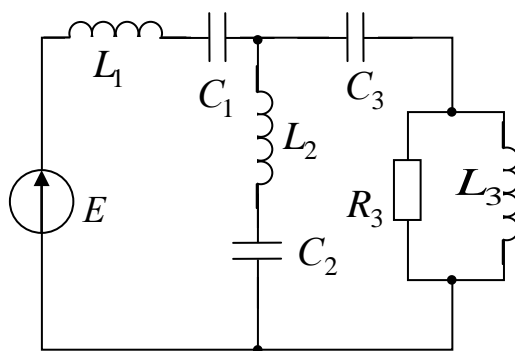


Рисунок 4.40

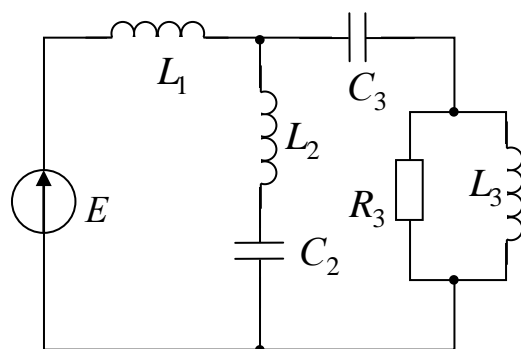


Рисунок 4.41

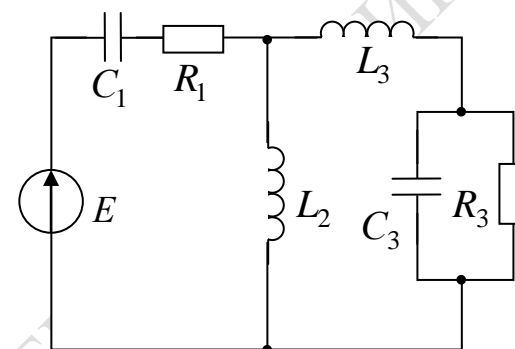


Рисунок 4.42

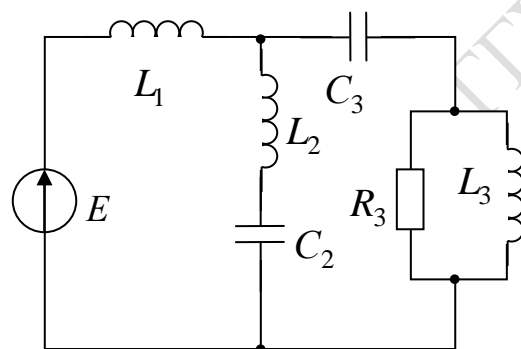


Рисунок 4.43

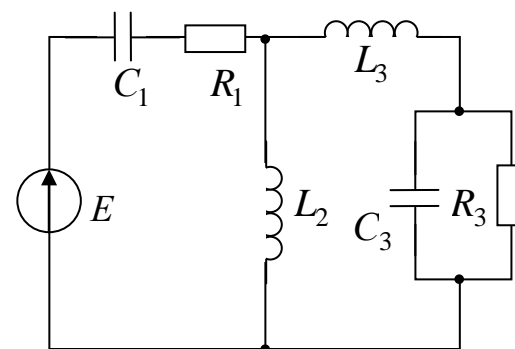


Рисунок 4.44

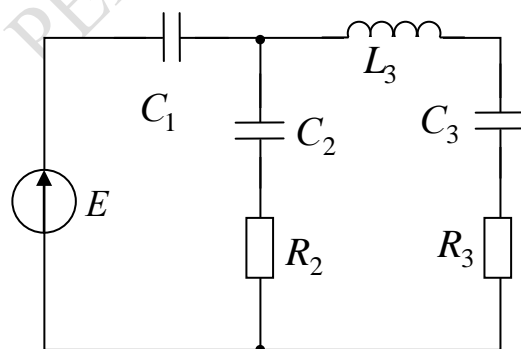


Рисунок 4.45

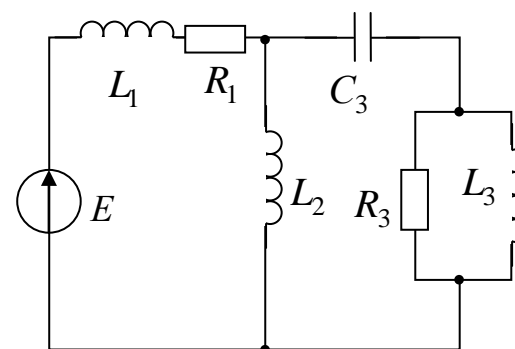


Рисунок 4.46

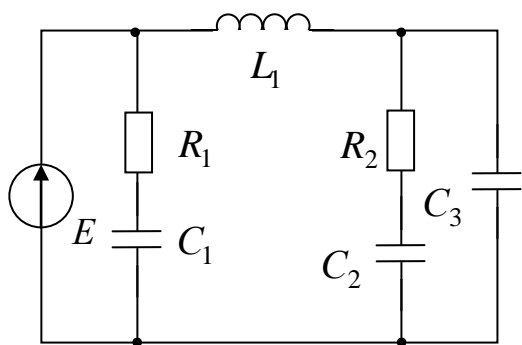


Рисунок 4.47

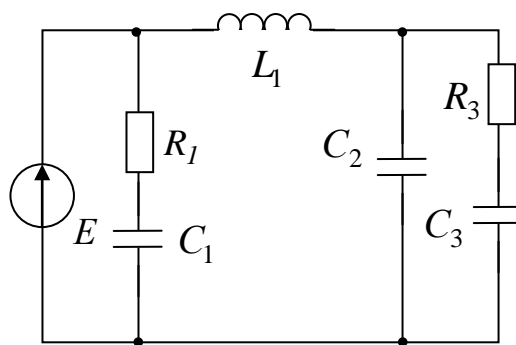


Рисунок 4.48

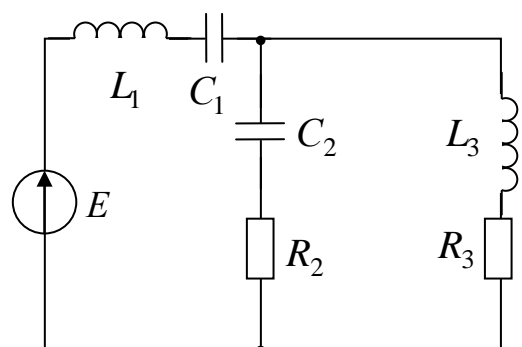


Рисунок 4.49

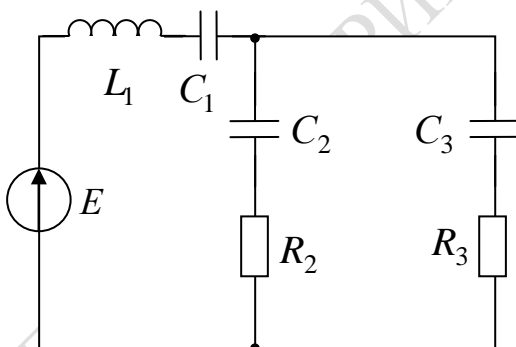


Рисунок 4.50

Таблица 4.2 – Значения ЭДС и сопротивлений резисторов для цепей, схемы которых приведены на рисунках 4.1–4.50

№ варианта	№ рисунка	$E, В$	$f, Гц$	$C_1, мкФ$	$C_2, мкФ$	$C_3, мкФ$	$L_1, мГн$	$L_2, мГн$	$L_3, мГн$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	4.1	100	50	637	300	–	–	–	15,9	10	4	6
2	4.2	100	50	–	–	–	15,9	9	15,9	8	3	4
3	4.3	200	50	637	300	–	–	–	15,9	8	3	–
4	4.4	120	50	–	300	–	15,9	–	15,9	8	3	4
5	4.5	220	50	637	–	100	–	47,7	–	8	–	4
6	4.6	50	50	100	159	–	15,9	–	47,7	10	–	10
7	4.7	100	50	–	–	300	15,9	–	115	–	10	10
8	4.8	120	50	–	100	–	–	–	115	10	4	10
9	4.9	200	50	–	159	–	31,8	–	–	10	4	10
10	4.10	220	50	–	318	–	15,9	–	47,7	10	–	10
11	4.11	50	50	637	–	300	–	15,9	–	6	5	8
12	4.12	100	50	–	637	100	15,7	–	–	–	10	8

Окончание таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
13	4.13	200	50	–	–	100	31,8	–	–	5	10	8
14	4.14	220	50	637	–	200	–	15,9	–	5	10	8
15	4.15	150	50	–	100	–	15,9	–	47,5	10	2	–
16	4.16	100	50	637	–	200	–	31,8	–	–	8	10
17	4.17	120	50	100	–	200	–	15,9	–	–	8	10
18	4.18	200	50	–	637	200	15,7	–	–	8	–	10
19	4.19	220	50	–	160	–	31,8	–	95	10	8	4
20	4.20	50	50	–	159	200	31,8	–	95	15	–	–
21	4.21	100	50	–	159	200	15,9	–	–	–	15	10
22	4.22	120	50	637	–	200	–	15,9	–	10	–	20
23	4.23	200	50	–	159	–	115	–	47,7	15	10	–
24	4.24	220	50	–	159	–	32,8	–	95	4	–	20
25	4.25	150	50	–	159	–	25	–	95	6	10	8
26	4.26	100	50	100	159	–	–	–	95	6	–	20
27	4.27	100	50	100	–	159	–	25	–	6	–	4
28	4.28	200	50	100	159	–	–	–	95	–	6	2
29	4.29	220	50	637	–	637	–	–	25	–	10	2
30	4.30	500	50	–	–	637	25	15,7	31,8	10	–	4
31	4.31	100	50	318	–	300	–	31,8	31,8	12	–	10
32	4.32	120	50	–	–	300	25	15,9	8	4	–	10
33	4.33	200	50	318	–	300	–	31,8	95	10	12	4
34	4.34	220	50	–	159	300	25	–	–	4	15	10
35	4.35	50	50	100	–	–	–	15,9	31,8	8	–	4
36	4.36	100	50	637	–	200	–	19,5	–	8	10	4
37	4.37	150	50	–	637	–	31,8	–	95	8	12	4
38	4.38	200	50	637	–	200	–	15,9	–	8	12	4
39	4.39	100	50	–	–	300	31,8	95	15,9	6	2	8
40	4.40	120	50	100	159	637	25	31,8	95	–	–	15
41	4.41	200	50	–	120	200	31,8	115	31,8	–	–	12
42	4.42	180	50	100	–	637	–	31,8	15,9	4	–	8
43	4.43	160	50	–	300	100	31,8	15,9	47,5	–	–	14
44	4.44	120	50	637	–	300	–	47,5	95	14	–	10
45	4.45	100	50	100	200	300	–	–	47,5	–	12	12
46	4.46	200	50	–	–	100	45,5	95	31,8	8	–	10
47	4.47	100	50	159	637	200	95	–	–	4	10	–
48	4.48	50	50	200	300	159	31,8	–	–	12	–	12
49	4.49	220	50	159	324	–	95	–	47,5	–	10	14
50	4.50	140	50	100	367	300	45,7	–	–	–	8	10

5 Контрольная работа 3

Расчет электрических цепей трехфазного тока

Для трехфазных электрических цепей, схемы которых приведены на рисунках 5.1–5.50, вычислить фазное напряжение генератора, линейные и фазные токи, ток в нейтральном проводе (для четырехпроводной линии), фазные и линейные напряжения приемника, активную, реактивную мощности всей цепи и каждой фазы приемника отдельно. Построить векторную диаграмму напряжений и токов на комплексной плоскости. Значения линейного напряжения симметричного генератора, соединенного звездой, активных и реактивных сопротивлений приемника заданы в таблице 5.1.

Примечание. – Для трехфазной цепи, соединенной звездой, сопротивление нулевого провода взять равным $\underline{Z}_{00'} = (1 + j1) \text{ Ом}$. При выполнении контрольной работы необходимо использовать основные сведения из теории электрических цепей, раздел 3.1, а также примеры решения типовых задач из раздела 3.1.

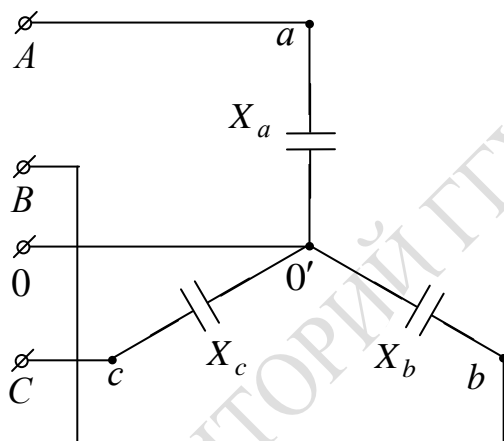


Рисунок 5.1

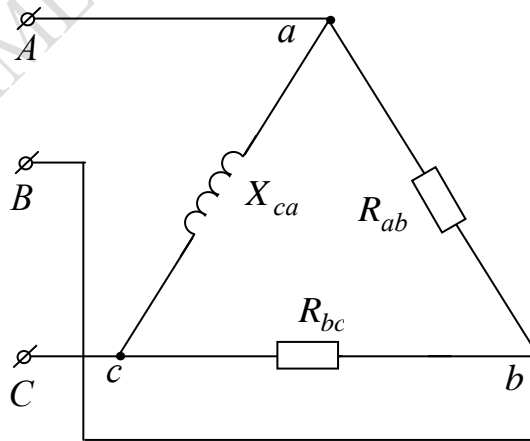


Рисунок 5.2

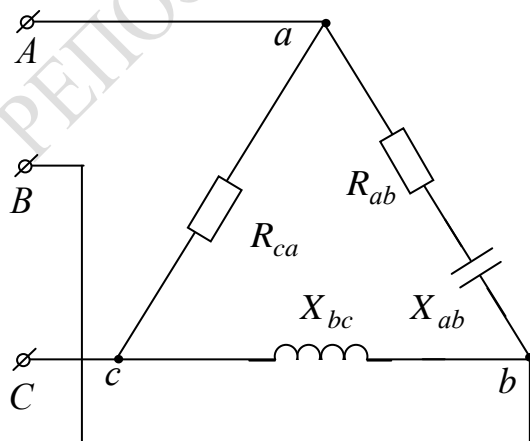


Рисунок 5.3

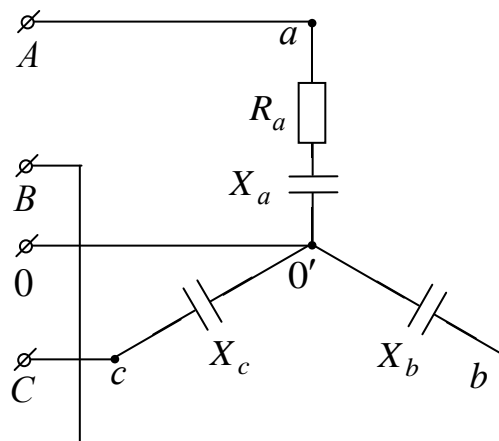


Рисунок 5.4

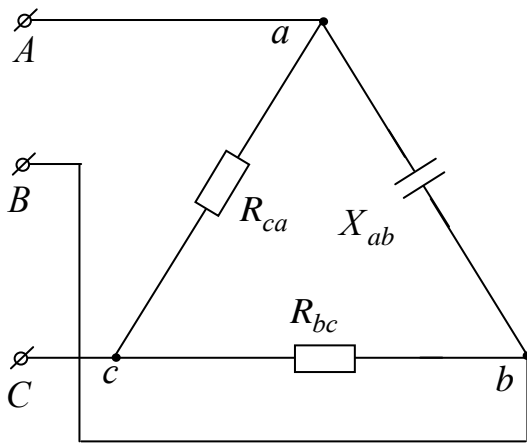


Рисунок 5.5

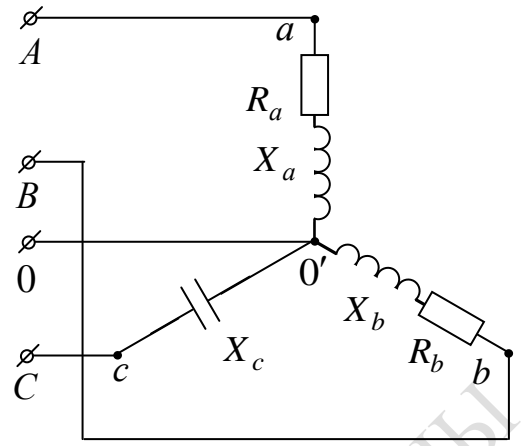


Рисунок 5.6

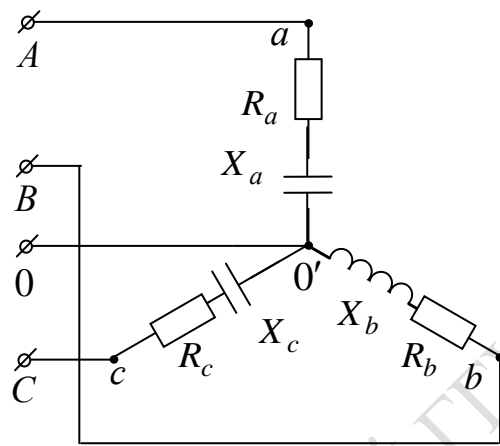


Рисунок 5.7

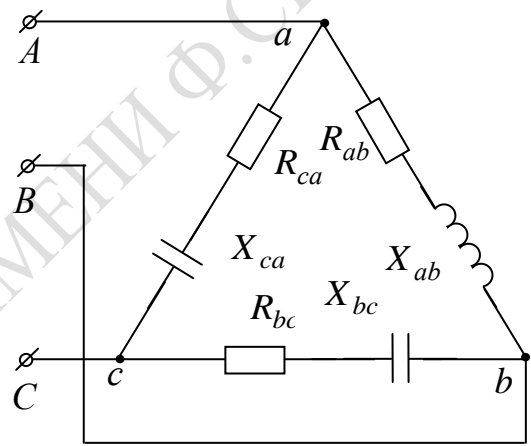


Рисунок 5.8

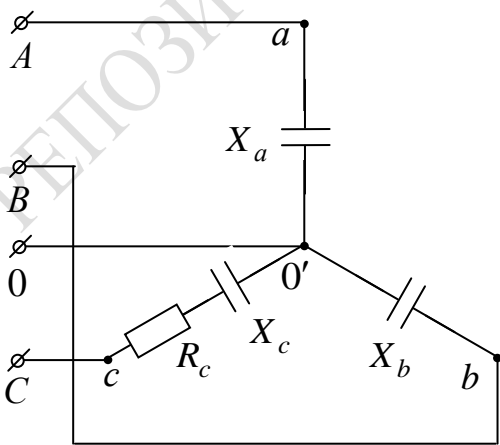


Рисунок 5.9

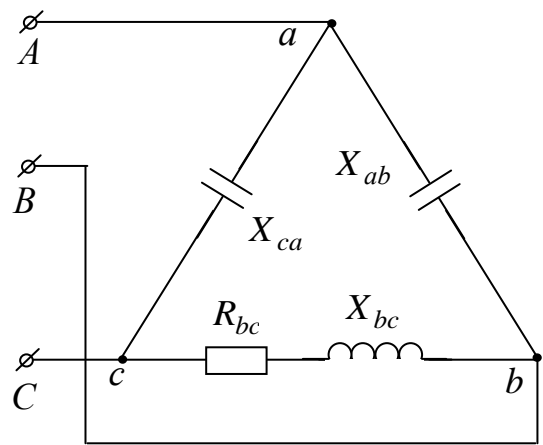


Рисунок 5.10

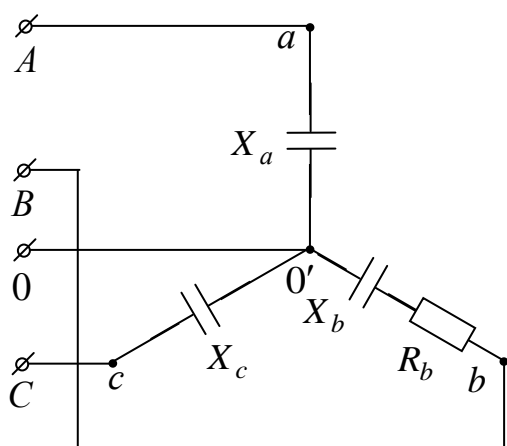


Рисунок 5.11

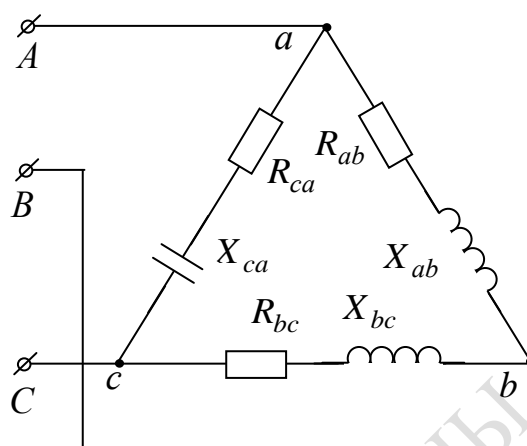


Рисунок 5.12

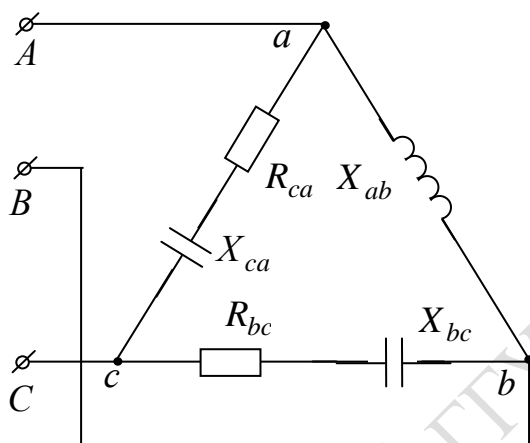


Рисунок 5.13

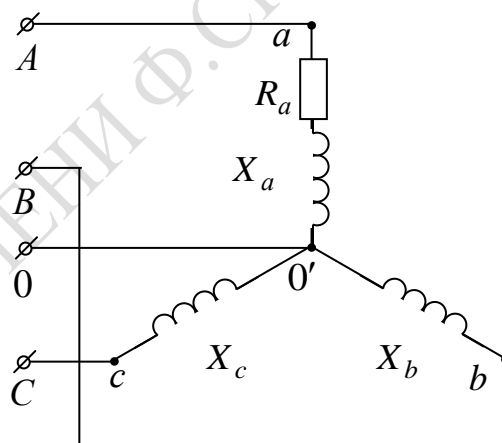


Рисунок 5.14

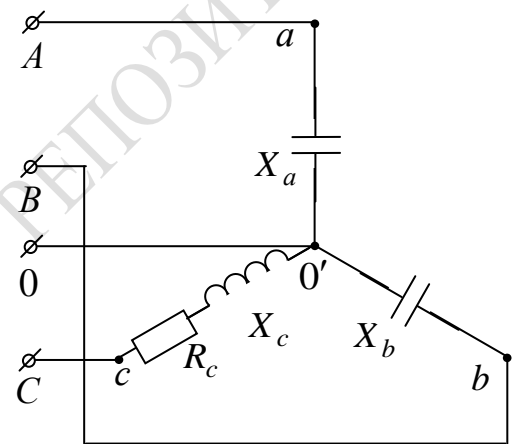


Рисунок 5.15

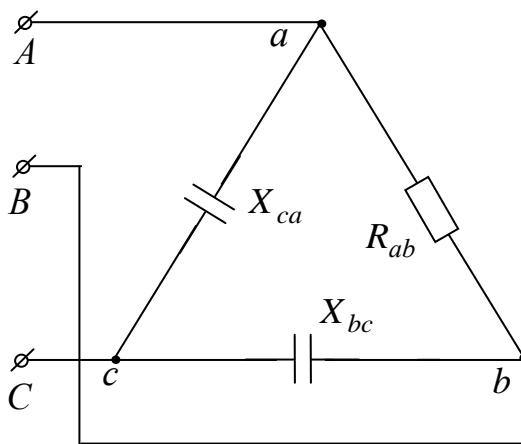


Рисунок 5.16

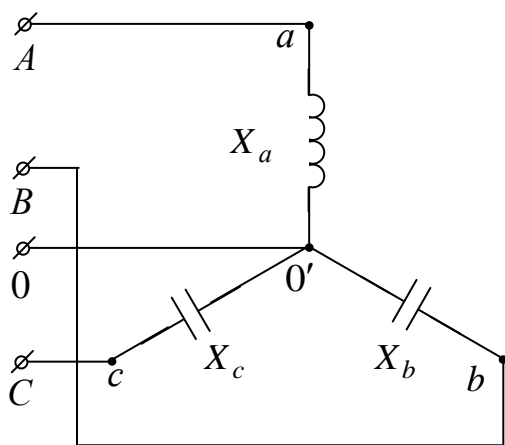


Рисунок 5.17

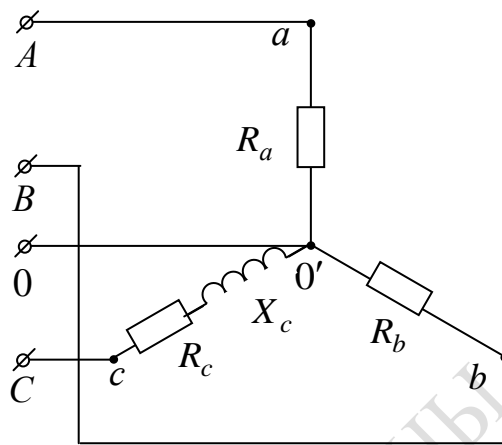


Рисунок 5.18

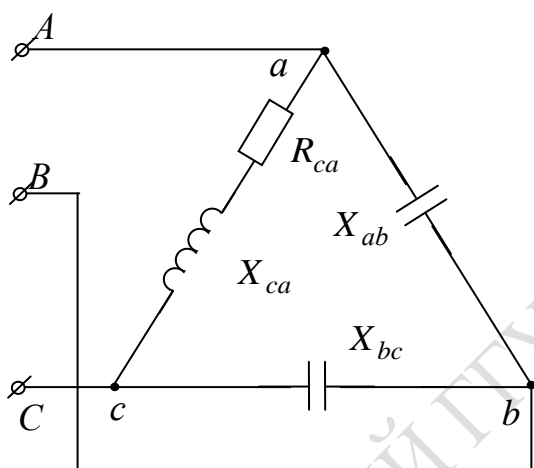


Рисунок 5.19

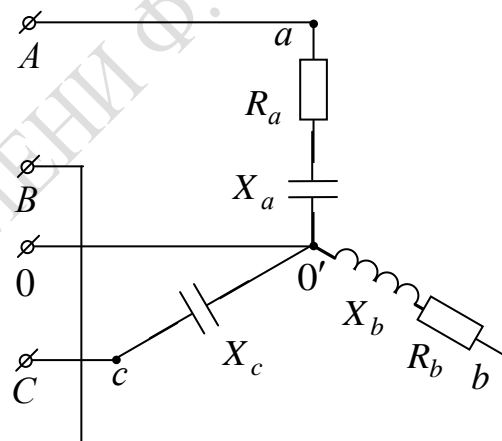


Рисунок 5.20

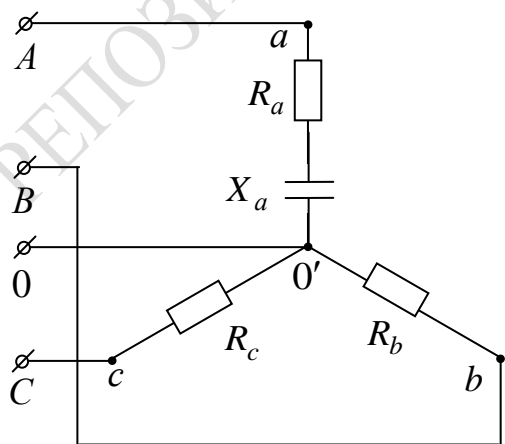


Рисунок 5.21

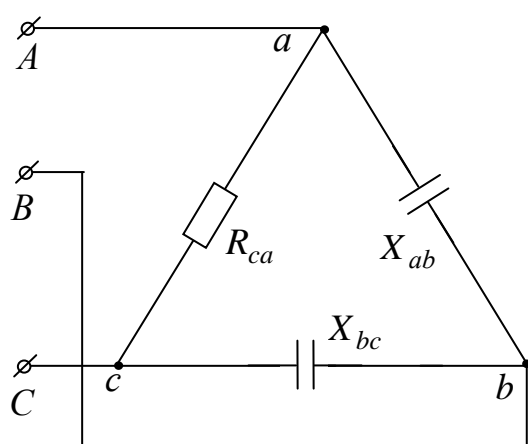


Рисунок 5.22

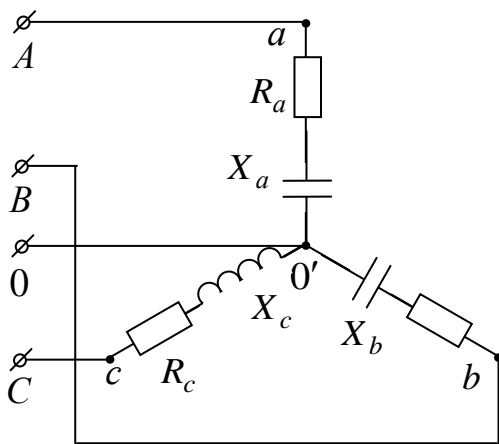


Рисунок 5.23

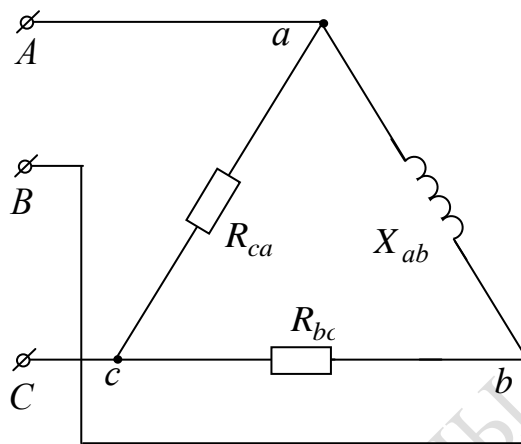


Рисунок 5.24

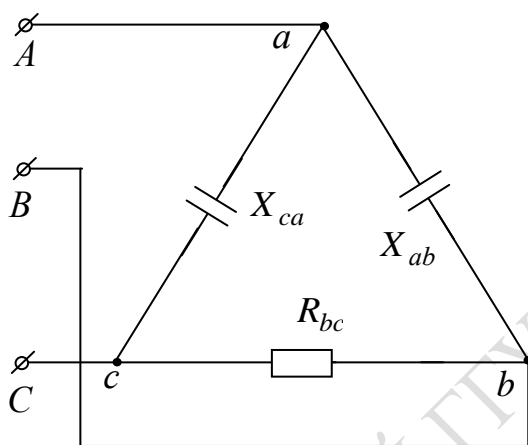


Рисунок 5.25

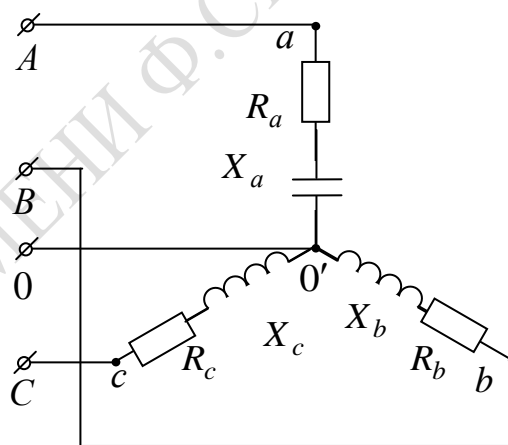


Рисунок 5.26

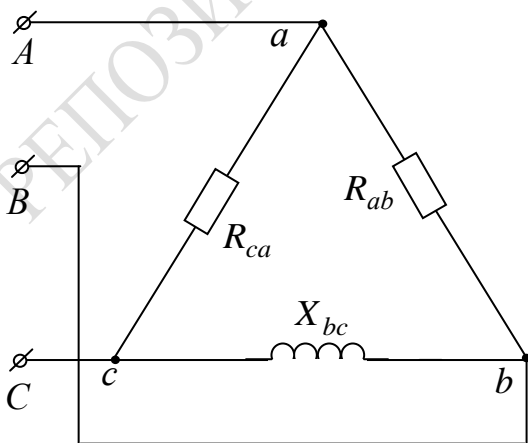


Рисунок 5.27

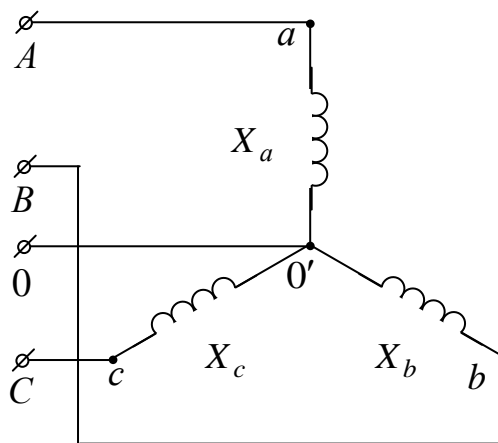


Рисунок 5.28

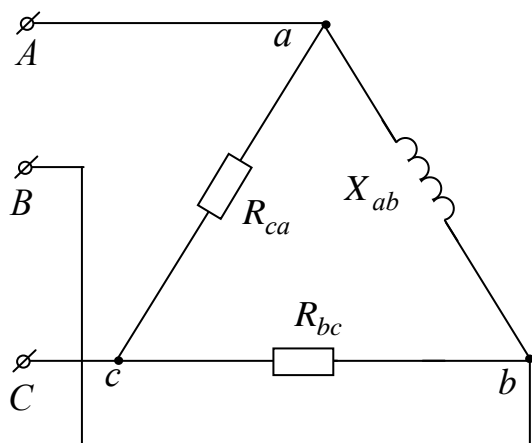


Рисунок 5.29

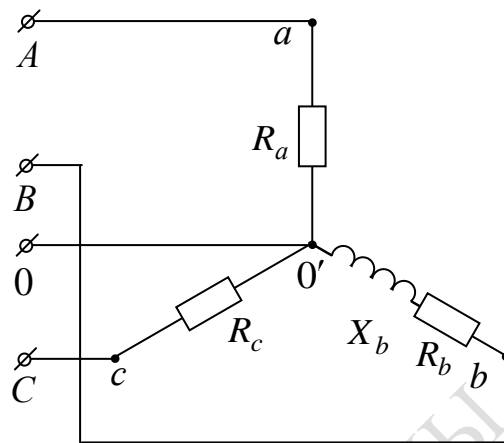


Рисунок 5.30

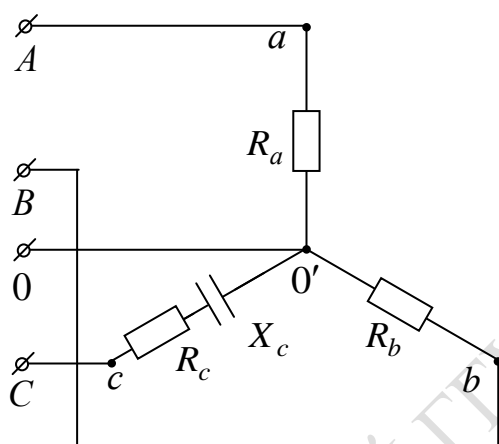


Рисунок 5.31

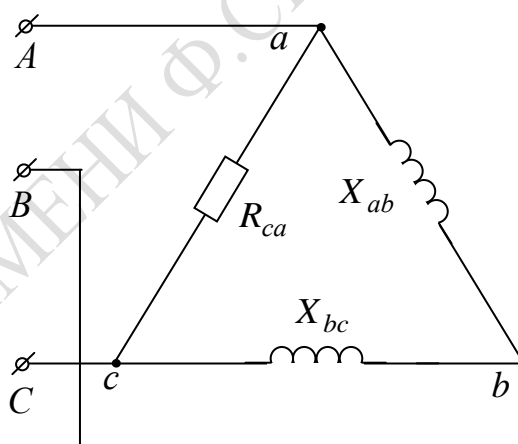


Рисунок 5.32

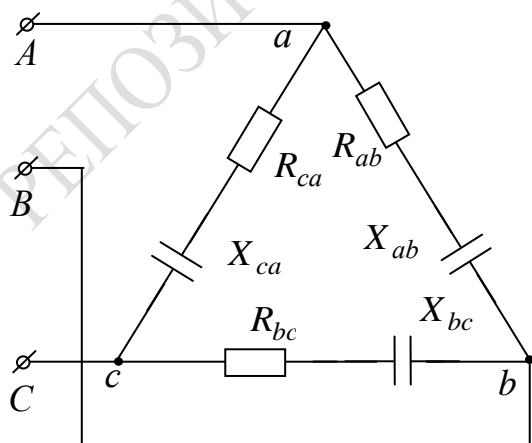


Рисунок 5.33

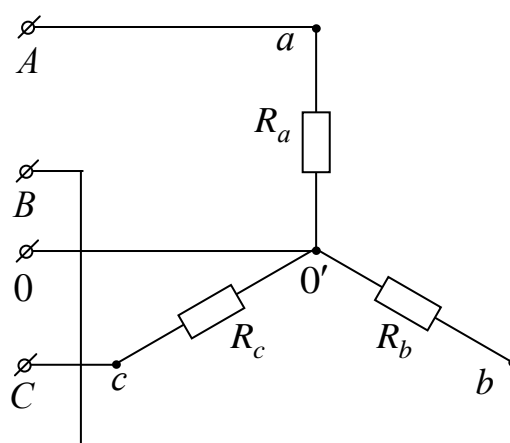


Рисунок 5.34

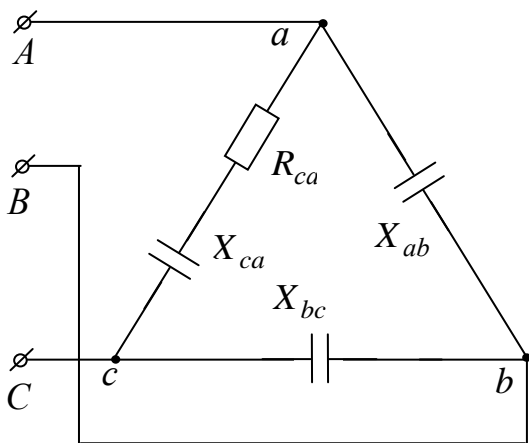


Рисунок 5.35

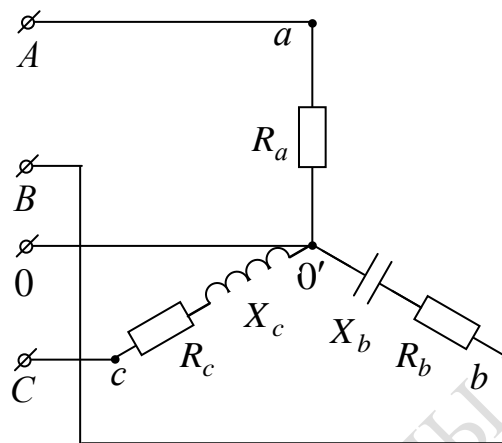


Рисунок 5.36

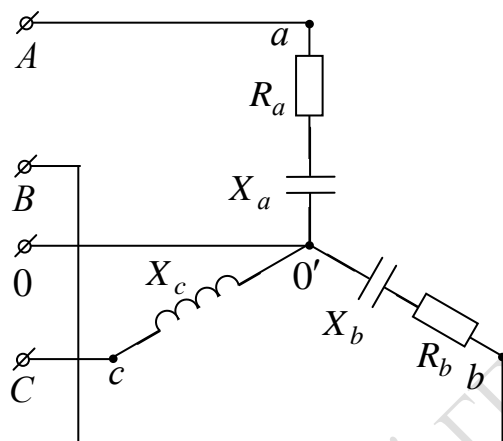


Рисунок 5.37

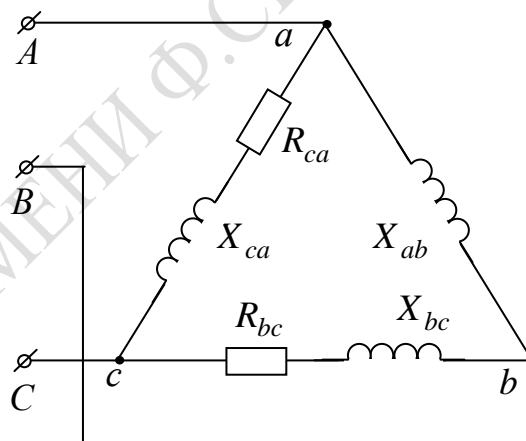


Рисунок 5.38

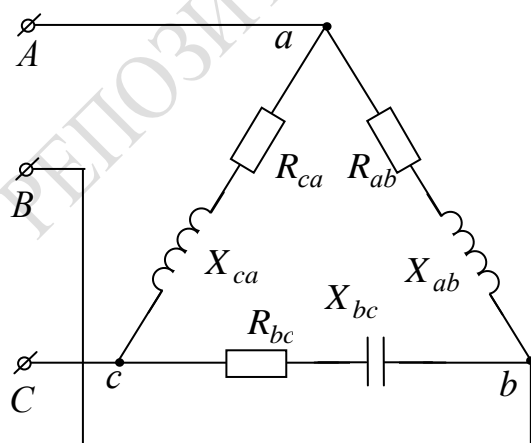


Рисунок 5.39

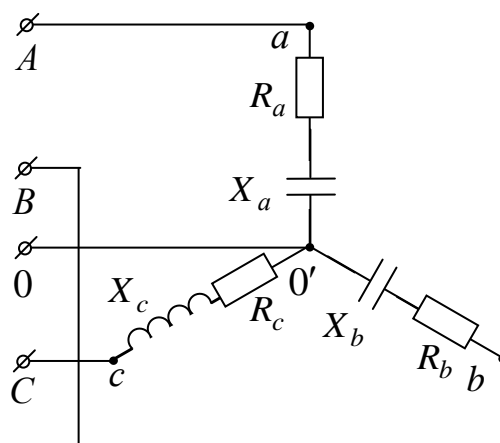


Рисунок 5.40

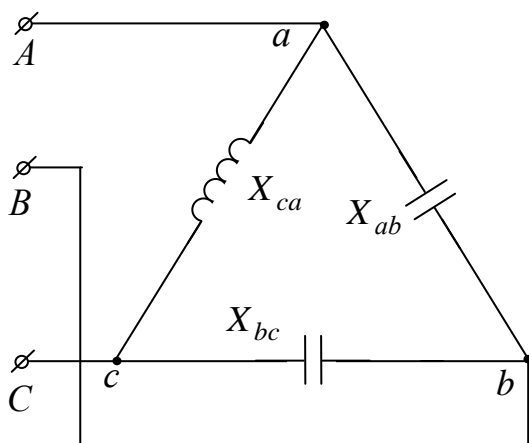


Рисунок 5.41

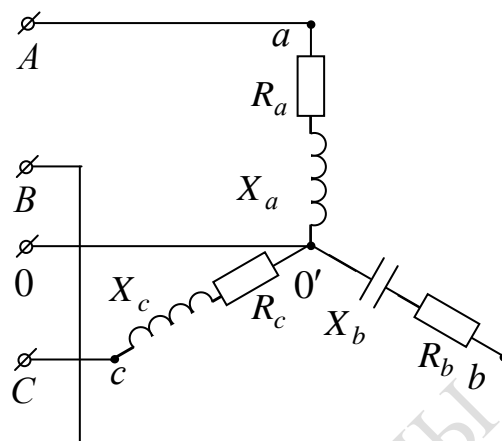


Рисунок 5.42

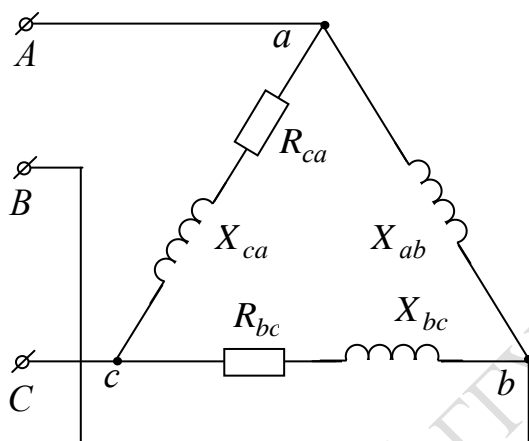


Рисунок 5.43

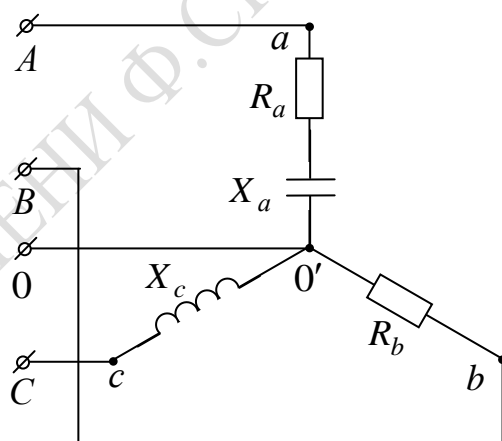


Рисунок 5.44

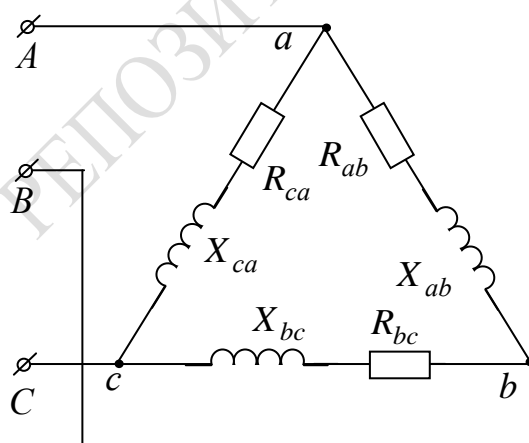


Рисунок 5.45

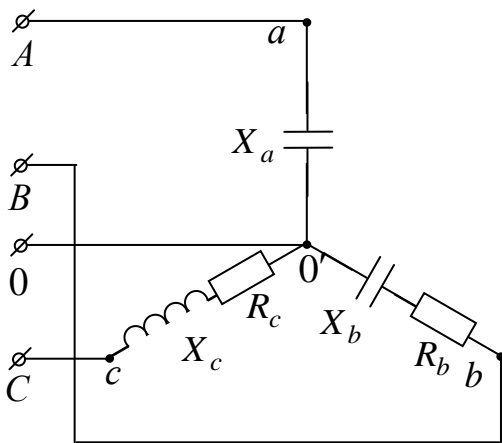


Рисунок 5.46

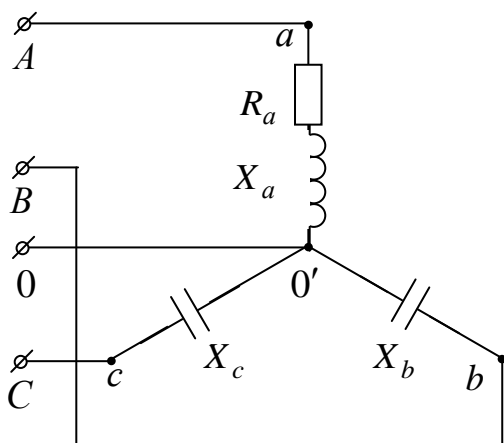


Рисунок 5.47

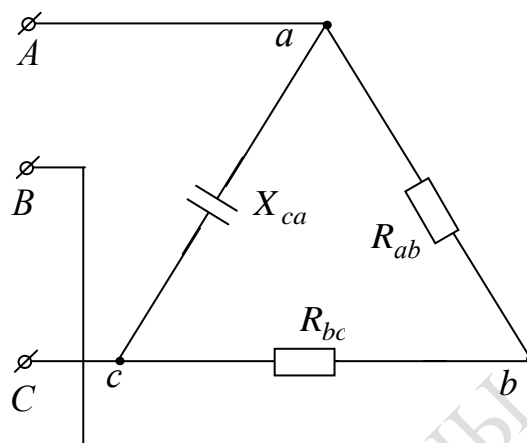


Рисунок 5.48

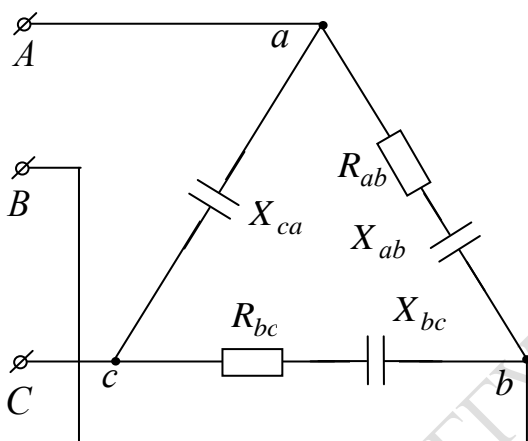


Рисунок 5.49

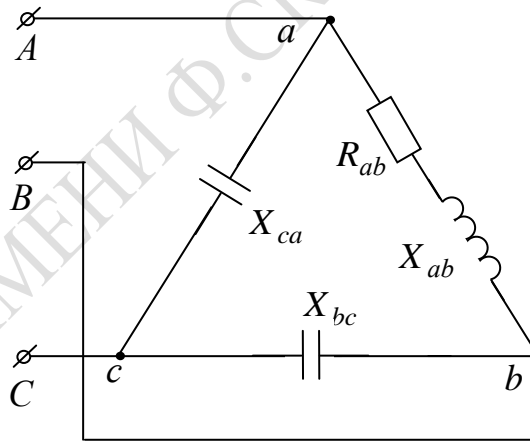


Рисунок 5.50

Таблица 5.1 – Значения линейных напряжений и сопротивлений резисторов для цепей, схемы которых приведены на рисунках 5.1–5.50

№ варианта	№ рисунка	$U_{л}, B$	$R_a, Ом$	$R_b, Ом$	$R_c, Ом$	$X_a, Ом$	$X_b, Ом$	$X_c, Ом$	$R_{ab}, Ом$	$R_{bc}, Ом$	$R_{ca}, Ом$	$X_{ab}, Ом$	$X_{bc}, Ом$	$X_{ca}, Ом$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	5.1	127	—	—	—	4	2	10	—	—	—	—	—	—
2	5.2	220	—	—	—	—	—	—	14,2	16	—	—	—	6
3	5.3	380	—	—	—	—	—	—	15	—	3	4	9	—
4	5.4	127	5	—	—	2	4	17	—	—	—	—	—	—
5	5.5	380	—	—	—	—	—	—	—	10	4	10	—	—
6	5.6	127	5	8	—	11	15	12	—	—	—	—	—	—

Окончание таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	5.7	220	10	6	7	3	4	15	—	—	—	—	—	—
8	5.8	380	—	—	—	—	—	—	3	4	10	8	6	7
9	5.9	127	—	—	7	8	3	6	—	—	—	—	—	—
10	5.10	220	—	—	—	—	—	—	—	5	—	8	4	2
11	5.11	380	—	12	—	20	15	7	—	—	—	—	—	—
12	5.12	127	—	—	—	—	—	—	8	8	8	10	2	4
13	5.13	220	—	—	—	—	—	—	—	11	13	10	4	9
14	5.14	380	5	—	—	2	17	4	—	—	—	—	—	—
15	5.15	127	—	—	16	4	8	6	—	—	—	—	—	—
16	5.16	220	—	—	—	—	—	—	9	—	—	—	4	1
17	5.17	380	—	—	—	9	15	9	—	—	—	—	—	—
18	5.18	127	5	6	19	—	—	15	—	—	—	—	—	—
19	5.19	220	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2,2	4	3
20	5.20	380	2,5	6	—	4	3,8	2	—	—	—	—	—	—
21	5.21	127	7	4	19	2	—	—	—	—	—	—	—	—
22	5.22	220	—	—	—	—	—	—	—	—	12	20	24	—
23	5.23	380	1,5	10	5	1	4	25	—	—	—	—	—	—
24	5.24	127	—	—	—	—	—	—	—	8	6	2	—	—
25	5.25	220	—	—	—	—	—	—	—	22	—	2	—	13
26	5.26	380	2	4	7	7	25	15	—	—	—	—	—	—
27	5.27	127	—	—	—	—	—	—	31,8	—	15	—	22	—
28	5.28	220	—	—	—	3	25	19	—	—	—	—	—	—
29	5.29	380	—	—	—	—	—	—	—	10	12	4	—	—
30	5.30	127	23	11	19	—	25	—	—	—	—	—	—	—
31	5.31	220	12	10	8	—	—	15	—	—	—	—	—	—
32	5.32	380	—	—	—	—	—	—	—	—	10	4	2	—
33	5.33	127	—	—	—	—	—	—	5	8	12	4	3	9
34	5.34	220	4	6	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	5.35	380	—	—	—	—	—	—	—	—	2	8	11	12
36	5.36	127	2	12	15	—	2	3	—	—	—	—	—	—
37	5.37	220	5	4	—	20	31	11	—	—	—	—	—	—
38	5.38	380	—	—	—	—	—	—	—	4	16	8	11	7
39	5.39	127	—	—	—	—	—	—	4,5	12	11	14	6	8
40	5.40	220	1	6	3	3	2	4,5	—	—	—	—	—	—
41	5.41	380	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	9,5	8
42	5.42	127	6,5	5	11	10	4,5	9,	—	—	—	—	—	—
43	5.43	220	—	—	—	—	—	—	—	4	10	3	2	1
44	5.44	380	10	20	—	15	—	11	—	—	—	—	—	—
45	5.45	127	—	—	—	—	—	—	4,5	8	10	14	4	9
46	5.46	220	—	10	3	3	4	7	—	—	—	—	—	—
47	5.47	220	15	—	—	10	3	7	—	—	—	—	—	—
48	5.48	380	—	—	—	—	—	—	4,7	10	—	—	—	5
49	5.49	127	—	—	—	—	—	—	15	11	—	10	12	2
50	5.50	220	—	—	—	—	—	—	11	—	—	10	8	7

6 Проверочные тесты

6.1 Свойства линейных электрических цепей постоянного тока и методы их расчета

В соответствии с заданиями укажите правильный(е) либо неправильный(е) вариант(ы) ответов из предложенных.

1 Из приведенных определений электрической цепи укажите неправильные.

1) Замкнутый электрический контур, состоящий из источника и приемников электрической энергии, соединенных с помощью проводников называют электрической цепью.

2) Электрический контур, состоящий из источника и приемников электрической энергии, называют электрической цепью, если процессы, протекающие в приемниках электрической энергии, могут быть описаны с помощью понятий об ЭДС, силе тока и напряжении.

3) Замкнутый электрический контур называют электрической цепью, если процессы, протекающие в приемниках электрической энергии, могут быть описаны с помощью понятий об ЭДС, силе тока и напряжении.

2 Какие элементы электрической цепи называются идеальными? Какой ответ неправильный?

1) Элементы, характеризующиеся всеми тремя параметрами R , L , C .

2) Элементы, характеризующиеся только одним параметром.

3) Элементы, в которых можно пренебречь двумя из трех следующих параметров R , L , C .

3 Какие элементы электрической цепи называют линейными элементами? Какие ответы правильные?

1) Приемники, у которых вольт-амперная характеристика имеет вид прямой линии, проходящей через начало координат.

2) Приемники, в которых отношение напряжения к току есть постоянная величина.

3) Приемники, в которых отношение напряжения к току определяется так: $U(I) = R \neq \text{const}$.

4 Какие формулы для электрической цепи (рисунок 6.1) записаны правильно?

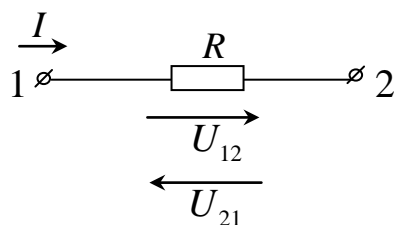


Рисунок 6.1

- | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1) $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2.$ | 3) $U_{12} = \varphi_1 + \varphi_2.$ | 5) $\varphi_1 = \varphi_2 + IR.$ |
| 2) $\varphi_1 = \varphi_2 - IR.$ | 4) $\varphi_2 = \varphi_1 + IR.$ | |

5 Какие формулы для электрической цепи (рисунок 6.2) записаны правильно?

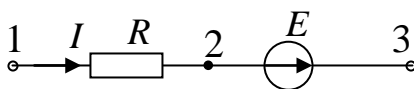


Рисунок 6.2

- | | |
|---|---|
| 1) $U_{13} = \varphi_1 - \varphi_3 = IR - E.$ | 3) $\varphi_1 = \varphi_3 + IR - E$ |
| 2) $U_{31} = \varphi_3 - \varphi_1 = IR - E.$ | 4) $U_{13} = \varphi_1 - \varphi_3 = IR + E.$ |

6 Какие формулы для электрической цепи (рисунок 6.3) записаны правильно?

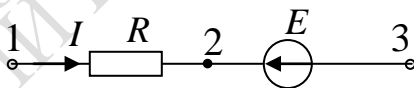


Рисунок 6.3

- | | |
|---|---|
| 1) $U_{13} = \varphi_1 - \varphi_3 = IR - E.$ | 3) $U_{31} = \varphi_3 - \varphi_1 = IR - E.$ |
| 2) $\varphi_1 = \varphi_3 + IR + E.$ | 4) $U_{13} = \varphi_1 - \varphi_3 = IR + E.$ |

7 Какие определения для идеального источника ЭДС записаны правильно?

1) Идеальный источник ЭДС представляет собой активный элемент с двумя выводами, напряжение на котором не зависит от тока, проходящего через источник, то есть $E = U = \text{const}.$

2) Идеальный источник ЭДС представляет собой активный элемент с двумя выводами, напряжение на котором зависит от тока, проходящего через источник.

3) Идеальный источник ЭДС представляет собой активный элемент с двумя выводами, напряжение на котором не зависит от тока,

проходящего через источник, то есть $E = U = \text{const}$. Предполагается, что внутри такого идеального источника пассивные элементы R, L, C отсутствуют, и поэтому прохождение через него тока не вызывает падение напряжения.

4) Идеальный источник ЭДС представляет собой активный элемент с двумя выводами, напряжение на котором не зависит от тока, проходящего через источник, то есть $E = U = \text{const}$. Предполагается, что внутри такого идеального источника имеются пассивные элементы R, L, C , и поэтому прохождение через него тока вызывает падение напряжения.

8 Какие определения для идеального источника тока записаны правильно?

1) Идеальным источником тока называют источник с внутренним сопротивлением, равным нулю, и током, не зависящим от сопротивления нагрузки цепи, то есть током, значение которого не зависит от значения напряжения и равным току короткого замыкания I_K источника питания.

2) Идеальным источником тока называют источник с внутренним сопротивлением, равным бесконечности, и током, не зависящим от сопротивления нагрузки цепи.

3) Идеальным источником тока называют источник с внутренним сопротивлением, равным бесконечности, и током, не зависящим от сопротивления нагрузки цепи, то есть током, значение которого не зависит от значения напряжения и равным току короткого замыкания I_K источника питания.

4) Идеальным источником тока называют источник с внутренним сопротивлением, равным бесконечности, и током, зависящим от сопротивления нагрузки цепи, то есть током, значение которого зависит от значения напряжения и равным току короткого замыкания I_K источника питания.

9 Какие определения ветви в электрической цепи записаны правильно?

1) Ветвь – это любой участок электрической цепи.

2) Ветвь – это участок электрической цепи, вдоль которого протекает один и тот же ток.

3) Ветвь – это часть цепи, включенной между двумя узлами, через которые она обменивается энергией с остальной цепью.

10 Что называют узлом в электрической цепи? Какие ответы неправильные?

1) Узлом называют точку в электрической цепи, в которой соединяются три и более ветвей.

2) Узлом называют точку в электрической цепи, в которой соединяются две и более ветвей.

3) Узлом называют точку в электрической цепи, в которой соединяются четыре и более ветвей.

11 Что называют контуром в электрической цепи? Какие ответы правильные?

1) Любой замкнутый путь в электрической цепи, состоящий из двух ветвей.

2) Любой замкнутый путь в электрической цепи, состоящий из трех ветвей.

3) Любой замкнутый путь в электрической цепи, состоящий из нескольких ветвей.

12 Какую схему называют схемой замещения электрической цепи, или эквивалентной схемой? Какие ответы неправильные?

1) Схема замещения электрической цепи есть графическое изображение цепи с помощью некоторых элементов.

2) Схема замещения есть графическое изображение реальной цепи с помощью идеализированных элементов, параметры которых отражают параметры замещаемых элементов.

3) Схема замещения есть графическое изображение реальной цепи с помощью идеализированных элементов.

13 Какая формула закона Ома для замкнутой цепи записана правильно?

1) $I = \frac{E}{(R_0 + R)}$. 2) $I = \frac{E}{(R_0 - R)}$. 3) $I = \frac{E}{R}$. 4) $I = \frac{E}{R_0}$.

14 Какие формулы для вычисления токов электрической цепи, изображенной на рисунке 6.4, записаны неправильно?

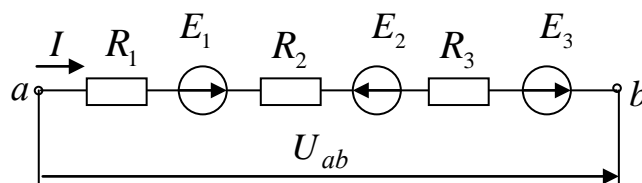


Рисунок 6.4

$$1) \quad I = \frac{(\varphi_a - \varphi_b) - E_1 + E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U_{ab} \pm \sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{i=1}^n R_i}.$$

$$2) \quad I = \frac{(\varphi_a + \varphi_b) + E_1 + E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U_{ab} + \sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{i=1}^n R_i}.$$

$$3) \quad I = \frac{(\varphi_a - \varphi_b) + E_1 + E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U_{ab} \pm \sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{i=1}^n R_i}.$$

15 Какие из приведенных определений первого правила Кирхгофа правильные?

1) Сумма всех токов, приходящих к узлу электрической цепи, равна сумме всех токов, выходящих из этого узла.

2) Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю.

3) Сумма всех токов, приходящих к узлу электрической цепи, не равна сумме всех токов, выходящих из этого узла, или алгебраическая сумма токов в узле не равна нулю.

4) Сумма всех токов, приходящих к узлу электрической цепи, равна сумме всех токов, выходящих из этого узла, или алгебраическая сумма токов в узле не равна нулю.

16 Какие из приведенных определений второго правила Кирхгофа неправильные?

1) Алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях участков замкнутого контура равна алгебраической сумме всех ЭДС источников.

2) Алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях участков замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС источников, входящих в контур.

3) Алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях участков контура не равна алгебраической сумме ЭДС источников, входящих в контур.

17 Какая формула для эквивалентного сопротивления электрической цепи, изображенной на рисунке 6.5, записана правильно?

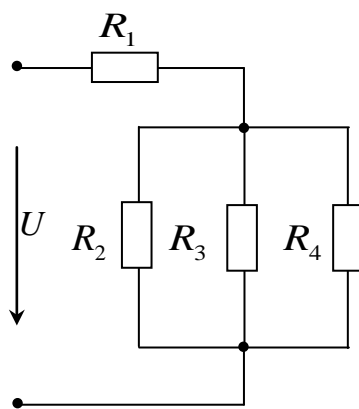


Рисунок 6.5

$$1) \quad R_{\text{экв. см.}} = R_1 + R_{234} + R_1 + \frac{R_2 R_3 R_4}{R_2 R_3 + R_3 R_4 + R_2 R_4}.$$

$$2) \quad R_{\text{экв. см.}} = R_1 + R_{234} + R_1 + \frac{R_2 R_3 R_4}{R_2 R_3 + R_3 R_4 + R_2 R_4}.$$

$$3) \quad R_{\text{экв. см.}} = R_1 + R_{34} + R_2 = R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}.$$

18 В каком из уравнений, составленных по первому правилу Кирхгофа, для электрической цепи, изображенной на рисунке 6.6, допущена ошибка?

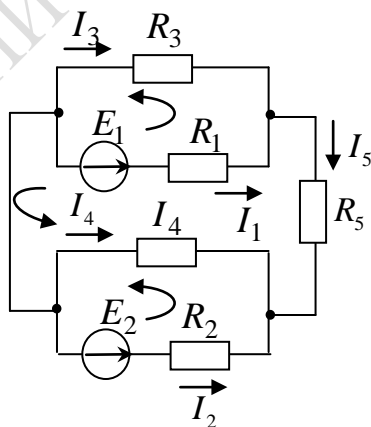


Рисунок 6.6

$$1) \quad I_1 + I_3 + I_5 = 0.$$

$$2) \quad I_4 + I_2 + I_5 = 0.$$

$$3) \quad I_1 + I_3 + I_2 + I_4 = 0.$$

19 В каком из уравнений, составленных по второму правилу, Кирхгофа, для электрической цепи, изображенной на рисунке 6.7, допущена ошибка?

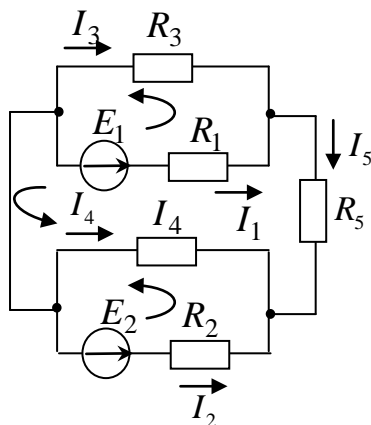


Рисунок 6.7

- 1) $E_1 = I_1 R_1 - I_3 R_3$.
- 2) $E_2 = -I_4 R_4 + I_2 R_2$.
- 3) $E_1 = I_4 R_4 - I_5 R_5 + I_1 R_1$.

20 Какие уравнения для расчета токов в электрической цепи рисунка 6.8 по первому и второму правилам Кирхгофа составлены правильно?

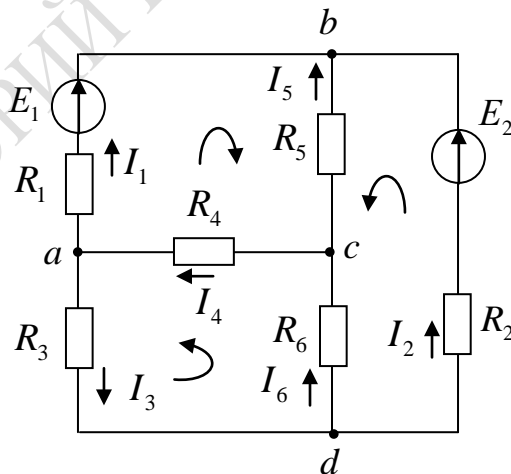


Рисунок 6.8

- 1) $a: I_1 + I_3 - I_4 = 0$;
- $b: I_2 - I_5 + I_1 = 0$;
- $c: I_5 + I_6 + I_4 = 0$;

- а) для контура abc : $E_1 = I_1 R_1 + I_5 R_5 + I_4 R_4$;
 б) для контура bcd : $E_2 = I_2 R_2 - I_6 R_6 - I_5 R_5$;
 в) для контура acd : $0 = I_3 R_3 + I_4 R_4 - I_6 R_6$.

2) а: $I_1 + I_3 - I_4 = 0$;

б: $I_2 + I_5 + I_1 = 0$;

с: $I_5 - I_6 + I_4 = 0$;

а) для контура abc : $E_1 = I_1 R_1 - I_5 R_5 + I_4 R_4$;

б) для контура bcd : $E_2 = I_2 R_2 - I_6 R_6 - I_5 R_5$;

в) для контура acd : $0 = I_3 R_3 + I_4 R_4 + I_6 R_6$.

3) а: $I_1 + I_3 + I_4 = 0$;

б: $I_2 + I_5 + I_1 = 0$;

с: $I_5 + I_6 + I_4 = 0$;

а) для контура abc : $E_1 = I_1 R_1 + I_5 R_5 + I_4 R_4$;

б) для контура bcd : $E_2 = I_2 R_2 - I_6 R_6 + I_5 R_5$;

в) для контура acd : $0 = I_3 R_3 + I_4 R_4 - I_6 R_6$.

21 Являются ли контурные токи реальными токами ветвей? Какие ответы неправильные?

- 1) Да.
- 2) Нет.
- 3) Это зависит от расположения ветви (внешнее или внутреннее).

22 Как выбирается направление контурных токов? Какие ответы неправильные?

- 1) По часовой стрелке.
- 2) Против часовой стрелки.
- 3) Произвольно.

23 На сколько сокращается число уравнений при использовании метода контурных токов? Какие ответы неправильные?

- 1) На число узлов в схеме.
- 2) На число независимых контуров в схеме.
- 3) На число узлов без одного.
- 4) На число независимых контуров в схеме без одного.

24 Какие уравнения для расчет токов в электрической цепи рисунка 6.9 по методу контурных токов составлены правильно?

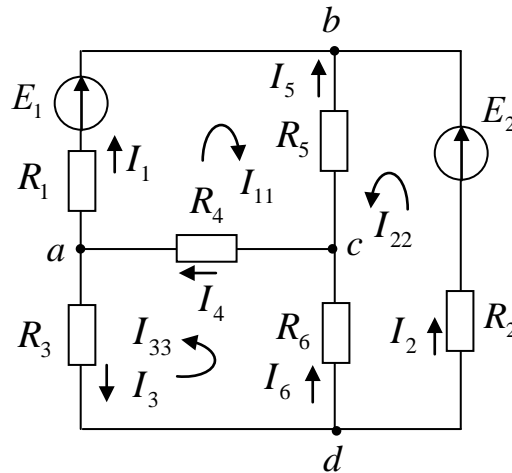


Рисунок 6.9

- 1) а) для контура abc : $E_1 = I_{11}(R_1 + R_5 + R_4) + I_{22}R_5 + I_{33}R_4$;
 б) для контура bcd : $E_2 = I_{11}R_5 + I_{22}(R_2 + R_6 + R_5) - I_{33}R_6$;
 в) для контура acd : $0 = I_{11}R_4 - I_{22}R_6 + I_{33}(R_4 + R_3 + R_6)$;
- 2) а) для контура abc : $E_1 = I_{11}(R_1 + R_5 - R_4) + I_{22}R_5 - I_{33}R_4$;
 б) для контура bcd : $E_2 = I_{11}R_5 - I_{22}(R_2 + R_6 + R_5) - I_{33}R_6$;
 в) для контура acd : $0 = I_{11}R_4 + I_{22}R_6 + I_{33}(R_4 + R_3 + R_6)$;
- 3) а) для контура abc : $E_1 = I_{11}(R_1 + R_5 + R_4) - I_{22}R_5 - I_{33}R_4$;
 б) для контура bcd : $E_2 = I_{11}R_5 + I_{22}(R_2 + R_6 + R_5) + I_{33}R_6$;
 в) для контура acd : $0 = I_{11}R_4 - I_{22}R_6 + I_{33}(R_4 + R_3 + R_6)$.

25 Какие формулы действительных токов через контурные токи для электрической цепи рисунка 6.10 записаны правильно?

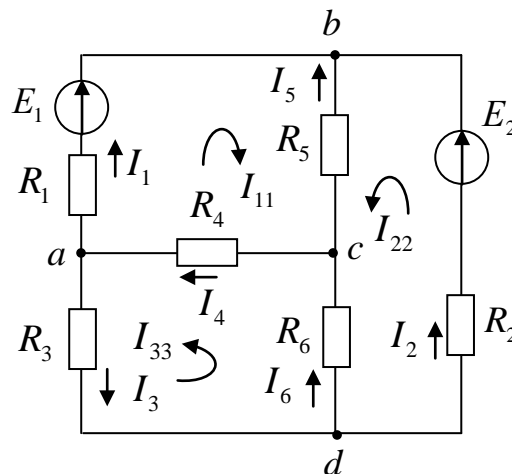


Рисунок 6.10

- 1) $I_1 = I_{11}; I_2 = I_{22}; I_3 = -I_{33}; I_5 = -I_{11} + I_{22}; I_4 = I_{11} + I_{33}; I_6 = I_{33} + I_{22}.$
- 2) $I_1 = I_{11}; I_2 = I_{22}; I_3 = I_{33}; I_5 = I_{11} - I_{22}; I_4 = I_{11} - I_{33}; I_6 = I_{33} - I_{22}.$
- 3) $I_1 = I_{11}; I_2 = I_{22}; I_3 = I_{33}; I_5 = -I_{11} - I_{22}; I_4 = I_{11} + I_{33}; I_6 = I_{33} - I_{22}$

26 Какая формула напряжения U_{ab} для электрической цепи (рисунок 6.11) записана правильно?

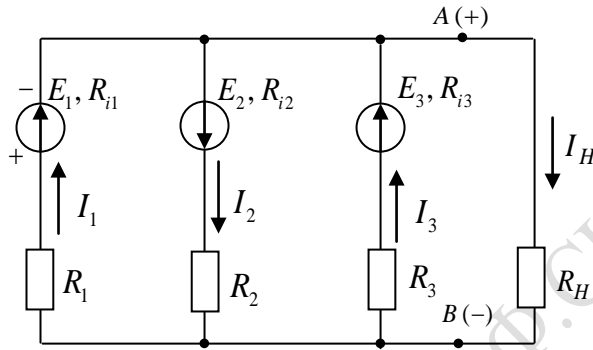


Рисунок 6.11

$$1) U_{AB} = \left(\frac{\sum EG}{\sum G} \right) = \frac{\frac{E_1}{R_{i1} + R_1} + \frac{E_2}{R_{i2} + R_2} - \frac{E_3}{R_{i3} + R_3}}{\frac{1}{R_{i1} + R_1} + \frac{1}{R_{i2} + R_2} + \frac{1}{R_{i3} + R_3} + \frac{1}{R_H}}.$$

$$2) U_{AB} = \left(\frac{\sum EG}{\sum G} \right) = \frac{E_1 \left(\frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_1} \right) - E_2 \left(\frac{1}{R_{i2}} + \frac{1}{R_2} \right) + E_3 \left(\frac{1}{R_{i2}} + \frac{1}{R_2} \right)}{\frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{i2}} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{i2}} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_H}}.$$

$$3) U_{AB} = \left(\frac{\sum EG}{\sum G} \right) = \frac{\frac{E_1}{R_{i1} + R_1} - \frac{E_2}{R_{i2} + R_2} + \frac{E_3}{R_{i3} + R_3}}{\frac{1}{R_{i1} + R_1} + \frac{1}{R_{i2} + R_2} + \frac{1}{R_{i3} + R_3} + \frac{1}{R_H}}.$$

27 Какие формулы для вычисления токов в электрической цепи (рисунок 6.12) записаны неправильно?

$$1) I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1 + R_{i1}}; \quad I_2 = \frac{E_2 + U_{AB}}{R_{i2} + R_2}; \quad I_3 = \frac{E_3 - U_{AB}}{R_{i3} + R_3}; \quad I_H = \frac{U_{AB}}{R_H}.$$

$$2) \quad I_1 = \frac{E_1 + U_{AB}}{R_1 + R_{i1}}; \quad I_2 = \frac{E_2 - U_{AB}}{R_{i2} + R_2}; \quad I_3 = \frac{E_3 - U_{AB}}{R_{i3} + R_3}; \quad I_H = \frac{U_{AB}}{R_H}.$$

$$3) \quad I_1 = \frac{E_1 + U_{AB}}{R_1 + R_{i1}}; \quad I_2 = \frac{E_2 - U_{AB}}{R_{i2} + R_2}; \quad I_3 = \frac{E_3 + U_{AB}}{R_{i3} + R_3}; \quad I_H = \frac{-U_{AB}}{R_H}.$$

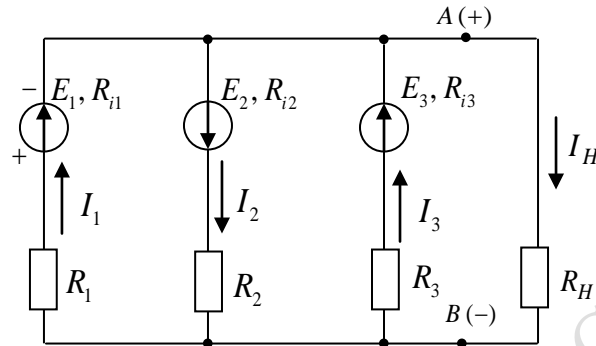


Рисунок 6.12

28 При составлении каких уравнений по методу узловых напряжений для электрической цепи (рисунок 6.13) допущена ошибка?

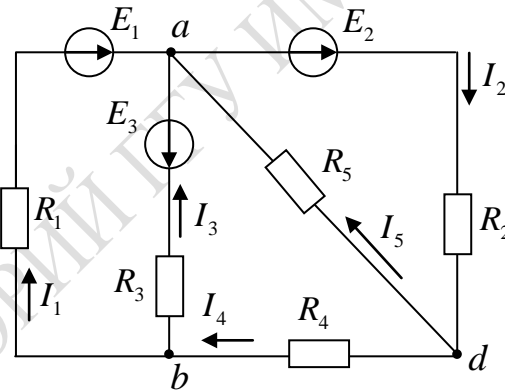


Рисунок 6.13

$$1) \quad \begin{cases} \frac{\varphi_b - \varphi_a - E_1}{R_1} + \frac{\varphi_b - \varphi_a + E_3}{R_3} + \frac{-\varphi_a}{R_5} = \frac{\varphi_a - E_2}{R_2}; \\ \frac{-\varphi_b}{R_4} = \frac{\varphi_b - \varphi_a - E_1}{R_1} + \frac{\varphi_b - \varphi_a + E_3}{R_3}. \end{cases}$$

$$2) \quad \begin{cases} \frac{\varphi_a - \varphi_b + E_1}{R_1} + \frac{\varphi_a - \varphi_b - E_3}{R_3} + \frac{-\varphi_a}{R_5} = \frac{\varphi_a + E_2}{R_2}; \\ \frac{-\varphi_b}{R_4} = \frac{\varphi_a - \varphi_b + E_1}{R_1} + \frac{\varphi_a - \varphi_b - E_3}{R_3}. \end{cases}$$

$$3) \begin{cases} \frac{\varphi_b - \varphi_a + E_1}{R_1} + \frac{\varphi_b - \varphi_a - E_3}{R_3} + \frac{-\varphi_a}{R_5} = \frac{\varphi_a + E_2}{R_2}; \\ \frac{\varphi_b}{R_4} = \frac{\varphi_b - \varphi_a + E_1}{R_1} + \frac{\varphi_b - \varphi_a - E_3}{R_3}. \end{cases}$$

29 В каких формулах для вычисления тока I_3 по методу эквивалентного генератора для электрической цепи (рисунки 6.14, 6.15) допущена ошибка?

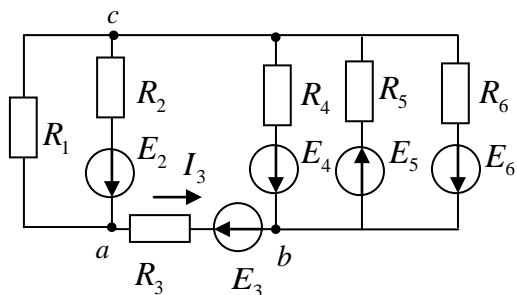


Рисунок 6.14

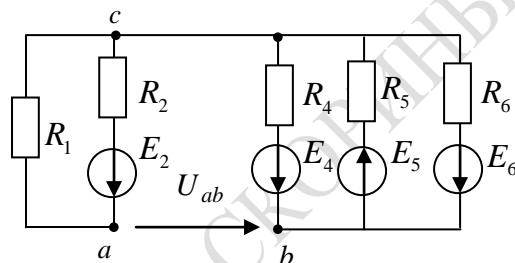


Рисунок 6.15

$$1) I_3 = \frac{U_{ab} - E_3}{R_{\text{экв.}} + R_3}. \quad 2) I_3 = \frac{U_{ab}}{R_{\text{экв.}} + R_3}. \quad 3) I_3 = \frac{U_{ab} + E_3}{R_{\text{экв.}} + R_3}.$$

30 Какие формулы для вычисления энергетического баланса в электрической цепи записаны правильно?

$$1) \sum IR_i = \sum EI + \sum UI. \\ 2) \sum U^2/R_i = \sum EI - \sum UI. \\ 3) \sum I^2 R_i = \sum EI + \sum UI.$$

6.2 Электрические цепи однофазного синусоидального тока

1 Какое из приведенных выражений для цепи синусоидального тока, состоящей из последовательно соединенных R, L, C элементов, содержит ошибку?

$$1) X_C = 2\pi fC. \quad 2) X_L = 2\pi fL. \\ 3) Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}. \\ 4) \cos \varphi = R/Z. \quad 5) \omega = 2\pi/T.$$

2 В каком из пунктов вывода индуктивного сопротивления катушки X_L при $R = 0$ допущена ошибка? Ток в цепи изменяется по закону $i = I_m \sin(\omega t)$.

1) $u = -e = L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt}.$

2) $u = LI_m \frac{d(\sin \omega t)}{dt}.$

3) $u = \omega LI_m \cos(\omega t) = U_m \sin(\omega t - \pi/2).$

4) $L\omega I_m = U_m.$

5) $X_L I = U; \quad X_L = \omega L = 2\pi fL.$

3 Чему равен фазовый сдвиг между напряжением и током для участка электрической цепи, содержащего сопротивление? Какой ответ правильный?

1) $\varphi = (\psi_u - \psi_i) = \frac{\pi}{2}.$

2) $\varphi = (\psi_u - \psi_i) = -\frac{\pi}{2}.$

3) $\varphi = (\psi_u - \psi_i) = 0.$

4 Почему сопротивление проводника при переменном токе больше, чем при постоянном токе? Какие ответы правильные?

1) Вследствие явлений поверхностного эффекта.

2) Вследствие возникновения вихревых токов и излучения электромагнитной энергии в пространство.

3) Сопротивление проводника одинаково как при переменном токе, так и при постоянном токе.

5 Чему равен фазовый сдвиг между напряжением и током для участка электрической цепи, содержащий индуктивность? Какой ответ правильный?

1) $\varphi = \psi_u - \psi_i = 0.$

2) $\varphi = (\psi_u - \psi_i) = \frac{\pi}{2}.$

3) $\varphi = (\psi_u - \psi_i) = -\frac{\pi}{2}.$

6 Чему равен фазовый сдвиг между напряжением и током для участка электрической цепи, содержащий емкость? Какой ответ правильный?

1) $\varphi = \psi_u - \psi_i = -\frac{\pi}{2}$.

2) $\varphi = \psi_u - \psi_i = \frac{\pi}{2}$.

3) $\varphi = \psi_u - \psi_i = 0$.

7 В каком из уравнений для тригонометрической формы записи второго правила Кирхгофа для электрической цепи (рисунок 6.16) допущена ошибка?

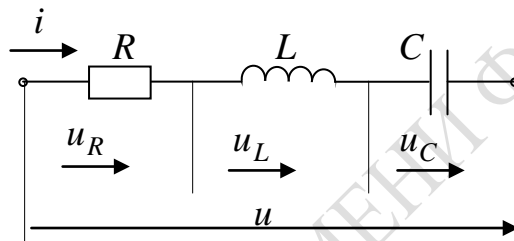


Рисунок 6.16

1) $U_m \sin(\omega t + \varphi) = RI_m \sin \omega t + \omega LI_m \cos \omega t - \frac{1}{\omega C} I_m \cos \omega t =$
 $= RI_m \sin \omega t + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) I_m \cos \omega t.$

2) $U_m \sin(\omega t + \varphi) = I_m (R \sin \omega t + X \cos \omega t).$

3) $U_m \sin(\omega t + \varphi) = RI_m \sin(\omega t) + \omega LI_m \cos(\omega t) + \frac{1}{\omega C} I_m \cos(\omega t) =$
 $= I_m [R \sin \omega t + X \cos(\omega t)].$

8 Какой характер носит электрическая цепь, содержащая резистор, катушку индуктивности и конденсатор, если $X > 0$ и $R = 0$? Какой ответ правильный?

- 1) Активный.
- 2) Индуктивный.
- 3) Емкостный.
- 4) Активно-емкостный.

9 Какой характер носит электрическая цепь, содержащая резистор, катушку индуктивности и конденсатор, если $X > 0$ и $R \neq 0$? Какой ответ правильный?

- 1) Активный.
- 2) Индуктивный.
- 3) Емкостный.
- 4) Активно-емкостный.
- 5) Активно-индуктивный.

10 Какой характер носит электрическая цепь, содержащая резистор, катушку индуктивности и конденсатор, если $X < 0$ и $R = 0$? Какой ответ правильный?

- 1) Активный.
- 2) Индуктивный.
- 3) Емкостный.
- 4) Активно-индуктивный.
- 5) Активно-емкостный.

11 Какой характер носит электрическая цепь, содержащая резистор, катушку индуктивности и конденсатор, если $X < 0$ и $R \neq 0$? Какой ответ правильный?

- 1) Активный.
- 2) Индуктивный.
- 3) Емкостный.
- 4) Активно-индуктивный.
- 5) Активно-емкостный.

12 Какая формула для вычисления амплитудного значения напряжения для электрической цепи (рисунок 6.17) записана правильно?

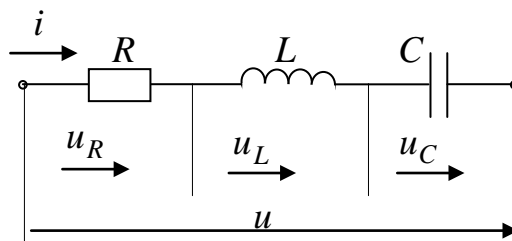


Рисунок 6.17

- 1) $U_m = I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$.
- 2) $U_m = I_m \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2}$.
- 3) $U_m = I_m [R^2 + (X_L - X_C)^2]$.

13 Ток в цепи рисунка 6.18 изменяется по закону $i = I_m \sin \omega t$. Какое из приведенных выражений несправедливо, если $U_L > U_C$?

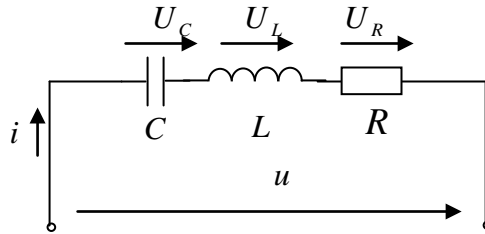


Рисунок 6.18

- 1) $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$.
- 2) $u_L = U_{mL} \sin(\omega t + \pi/2)$.
- 3) $u_R = U_{mR} \sin \omega t$.
- 4) $u_C = U_{mC} \sin(\omega t + \pi/2)$.

14 Напряжение u цепи рисунка 6.19 изменяется по закону $u = U_m \sin(\omega t)$. В каком из приведенных выражений допущена ошибка, если $X_L < X_C$?

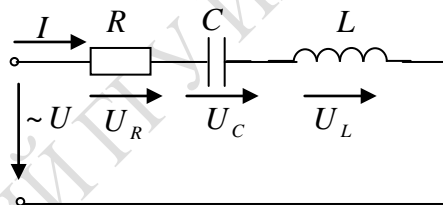


Рисунок 6.19

- 1) $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$.
- 2) $u_R = U_{mR} \sin(\omega t + \varphi)$.
- 3) $u_L = U_{mL} \sin(\omega t + \pi/2 + \varphi)$.
- 4) $u_C = U_{mC} \sin(\omega t - \pi/2 - \varphi)$.

15 В каком из пунктов вывода емкостного сопротивления конденсатора X_C допущена ошибка, при условии, что напряжение на конденсаторе изменяется по закону $u = U_m \sin \omega t$?

- 1) $i = C \frac{du_C}{dt} = CdU_m \sin(\omega t)/dt$.
- 2) $i = CU_m d \sin(\omega t)/dt$.

$$3) i = C \omega U_m \cos(\omega t) = I_m \sin(\omega t - \pi/2).$$

$$4) C \omega U_m = I_m.$$

$$5) I = U / X_C; \quad X_C = 1 / \omega C = 1 / 2\pi C.$$

16 Напряжение u в цепи рисунка 6.20 изменяется по закону $u = U_m \sin \omega t$. В каком выражении допущена ошибка, если $X_L > X_C$; $R_1 = R_2$?

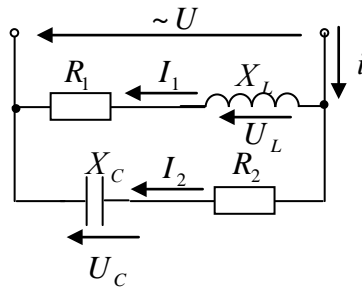


Рисунок 6.20

$$1) i_1 = I_{m1} \sin(\omega t - \varphi_1).$$

$$2) i = I_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2).$$

$$3) i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi).$$

$$4) u_L = U_{mL} \sin(\omega t + \varphi_1 + \pi/2).$$

$$5) u_C = U_{mC} \sin(\omega t + \varphi_2 - \pi/2).$$

17 В каком из пунктов вывода выражения для полного сопротивления цепи рисунка 6.21 допущена ошибка, при условии, что в цепи протекает ток $i = I_m \sin(\omega t)$?

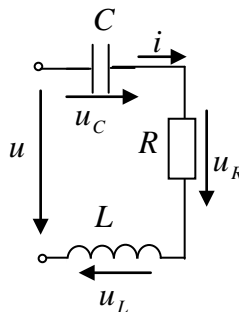


Рисунок 6.21

$$1) u = u_R + u_L + u_C.$$

$$2) u = RI_m \sin(\omega t) + I_m X_L \sin(\omega t + \pi/2) + I_m X_C \sin(\omega t - \pi/2).$$

$$3) U = U_R + U_L + U_C.$$

$$4) U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2 = I^2 R^2 + I^2 (X_L - X_C)^2.$$

$$5) I = \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2}; \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2}.$$

18 В каких из пунктов вывода выражения для полного сопротивления цепи рисунка 6.22 допущена ошибка?

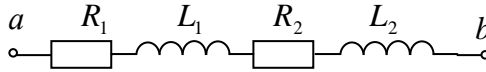


Рисунок 6.22

$$1) Z_{ab} = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + X_{L1}^2 + X_{L2}^2}.$$

$$2) Z_{ab} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + X_{L1}^2 + X_{L2}^2}.$$

$$3) Z_{ab} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_{L1} + X_{L2})^2}.$$

$$4) Z_{ab} = \sqrt{R_1 + R_2 + (X_{L1} + X_{L2})^2}.$$

19 Характер нагрузки какой из цепей рисунка 6.23 указан неправильно, если $X_L = X_C = R$?

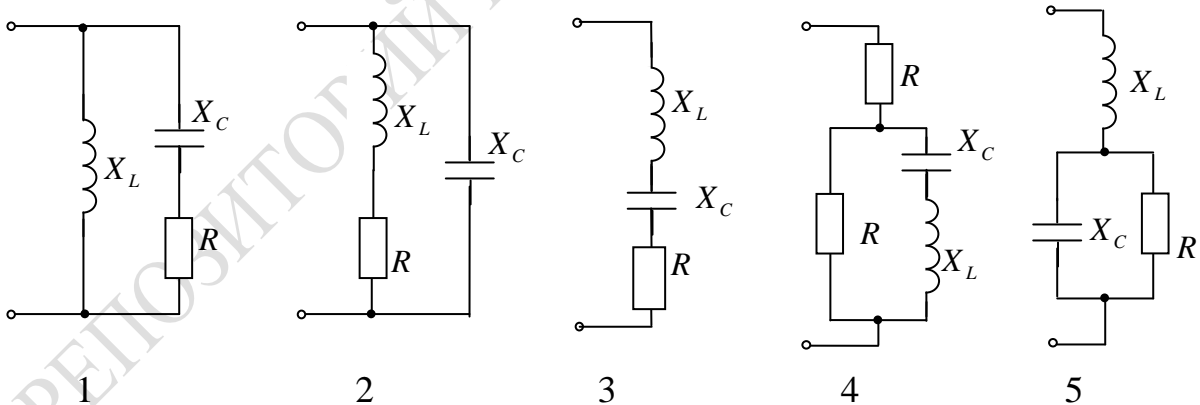


Рисунок 6.23

1) Активно-индуктивный.

2) Активно-емкостный.

3) Активный.

4) Активно-емкостный.

5) Активно-индуктивный.

20 Какое выражение для цепи рисунка 6.24 записано неправильно?

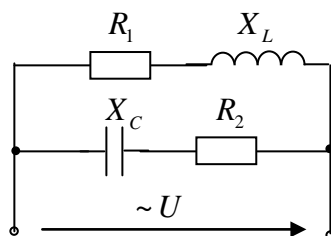


Рисунок 6.24

- 1) $g_1 = R_1 / (R^2 + X_L^2)$.
- 2) $g_2 = R_2 / (R^2 + X_C^2)$.
- 3) $b_1 = X_L / (R_1^2 + X_L^2)$.
- 4) $b_2 = X_C / (R_2^2 + X_C^2)$.
- 5) $b = b_1 + b_2$.

21 В каком из уравнений для тригонометрической формы записи первого правила Кирхгофа для рисунка 6.25 электрической цепи допущена ошибка?

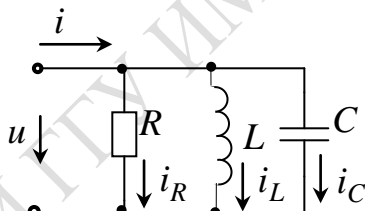


Рисунок 6.25

- 1) $I_m \sin(\omega t + \Psi) = U_m \left[\frac{1}{R} \sin \omega t - \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right) \cos \omega t \right]$.
- 2) $I_m \sin(\omega t + \Psi) = U_m [g \sin \omega t - b \cos \omega t]$.
- 3) $I_m \sin(\omega t + \Psi) = \frac{1}{R} U_m \sin \omega t + \frac{1}{\omega L} U_m \cos \omega t + \omega C U_m \cos \omega t =$
 $= U_m [g \sin \omega t + b \cos \omega t]$.

22 Какие выражения для активной мощности записаны неправильно?

- 1) $P = ZI^2 \cos \varphi = RI^2$.
- 2) $P = gU^2 \cos \varphi = gU^2$.
- 3) $P = U_a I$.
- 4) $P = ZU^2 \cos \varphi = RU^2$.
- 5) $P = gI^2 \cos \varphi = gI^2$.

23 Для электрической цепи (рисунок 6.26) записан закон Ома в комплексной форме. Какие ответы правильные?

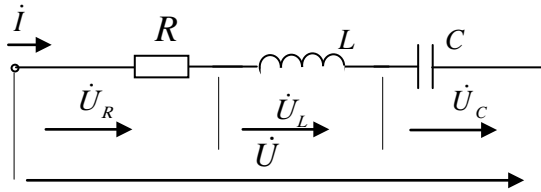


Рисунок 6.26

1) $\dot{U} = R\dot{I}_m + j\omega L\dot{I}_m + \frac{1}{j\omega C}\dot{I}_m$.

2) $\dot{U} = R\dot{I}_m + j\omega L\dot{I}_m - \frac{j}{\omega C}\dot{I}_m$.

3) $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$.

4) $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R + j\omega L - \frac{1}{j\omega C}}$.

24 Для какой электрической цепи (рисунок 6.27) приведена векторная диаграмма? Какие ответы правильные?

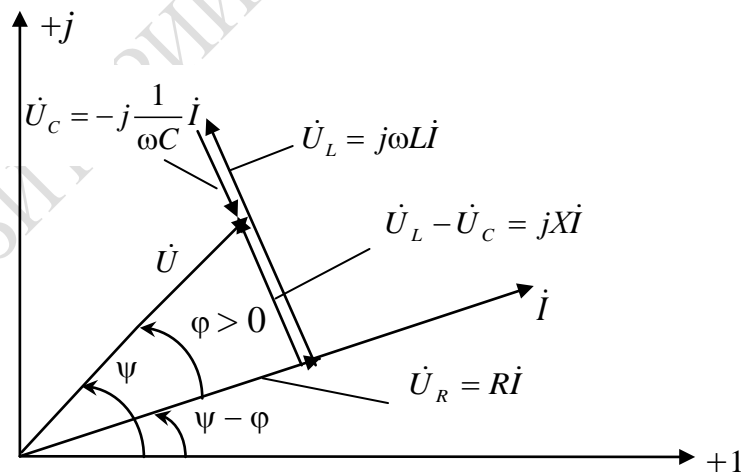


Рисунок 6.27

1) Электрическая цепь состоит из активного, индуктивного и емкостного сопротивления.

2) Реактивное сопротивление цепи имеет индуктивный характер, то есть $X > 0$.

3) Полное сопротивление цепи равно чисто активному сопротивлению.

4) Ток отстает по фазе от напряжения, то есть $\varphi > 0$.

25 Для какой электрической цепи (рисунок 6.28) приведена векторная диаграмма? Какие ответы правильные?

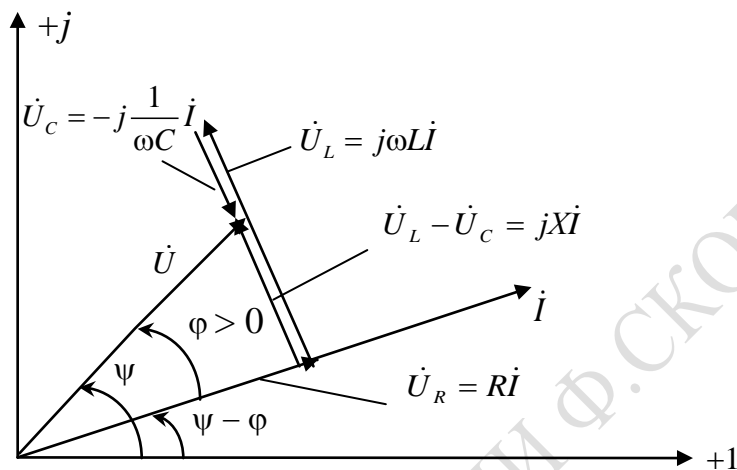


Рисунок 6.28

1) Реактивное сопротивление цепи емкостное, то есть $X < 0$.

2) Ток опережает по фазе напряжение на угол $\frac{\pi}{2}$.

3) Ток опережает по фазе напряжение, то есть $\varphi < 0$.

4) Реактивное сопротивление цепи носит индуктивный характер.

26 Известно, что в электрической цепи (рисунок 6.29) реактивные сопротивления $X_L > X_C$. Какой из треугольников сопротивлений построен неправильно.

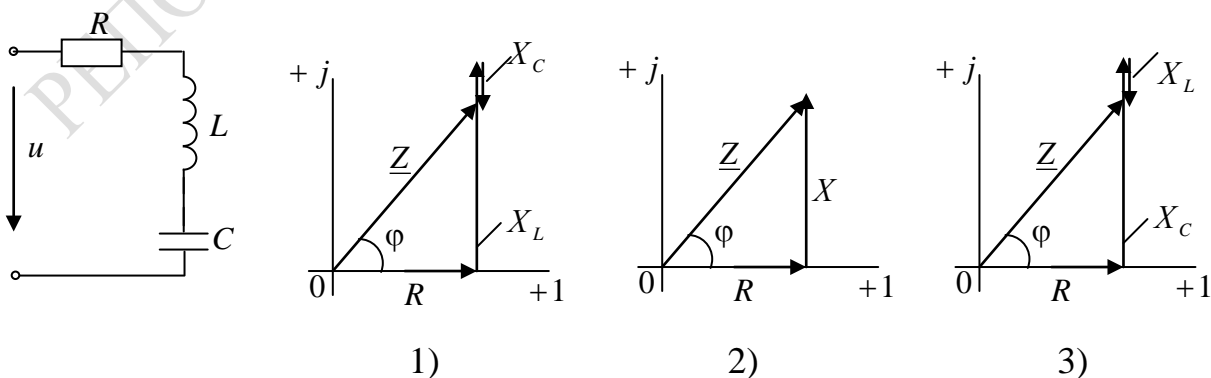


Рисунок 6.29

27 Для электрических цепей (рисунок 6.30) построены векторные диаграммы. Для какой цепи векторная диаграмма построена правильно.

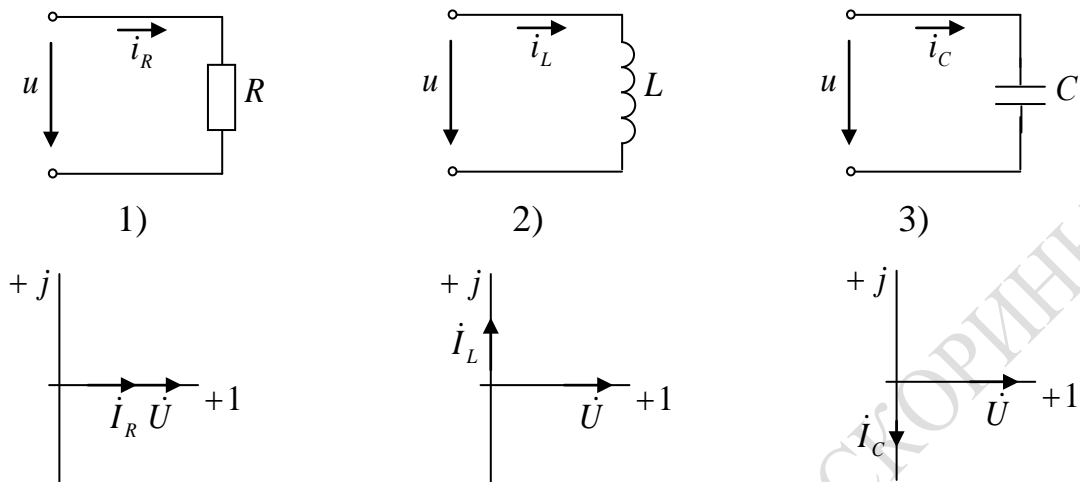


Рисунок 6.30

28 В какой из векторных диаграмм цепи (рисунок 6.31) допущена ошибка, если $R_1 = R_2 = X_L = X_C$?

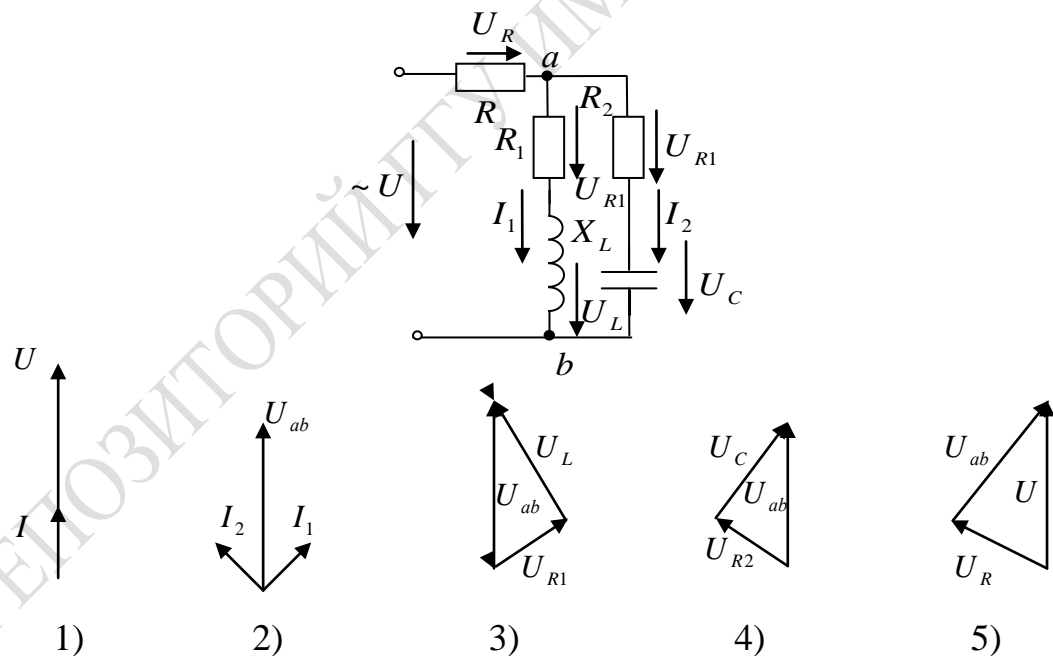


Рисунок 6.31

29 На рисунке 6.32 изображены цепи и под ними их соответствующие векторные диаграммы. В какой из векторных диаграмм при заданных соотношениях параметров допущена ошибка?

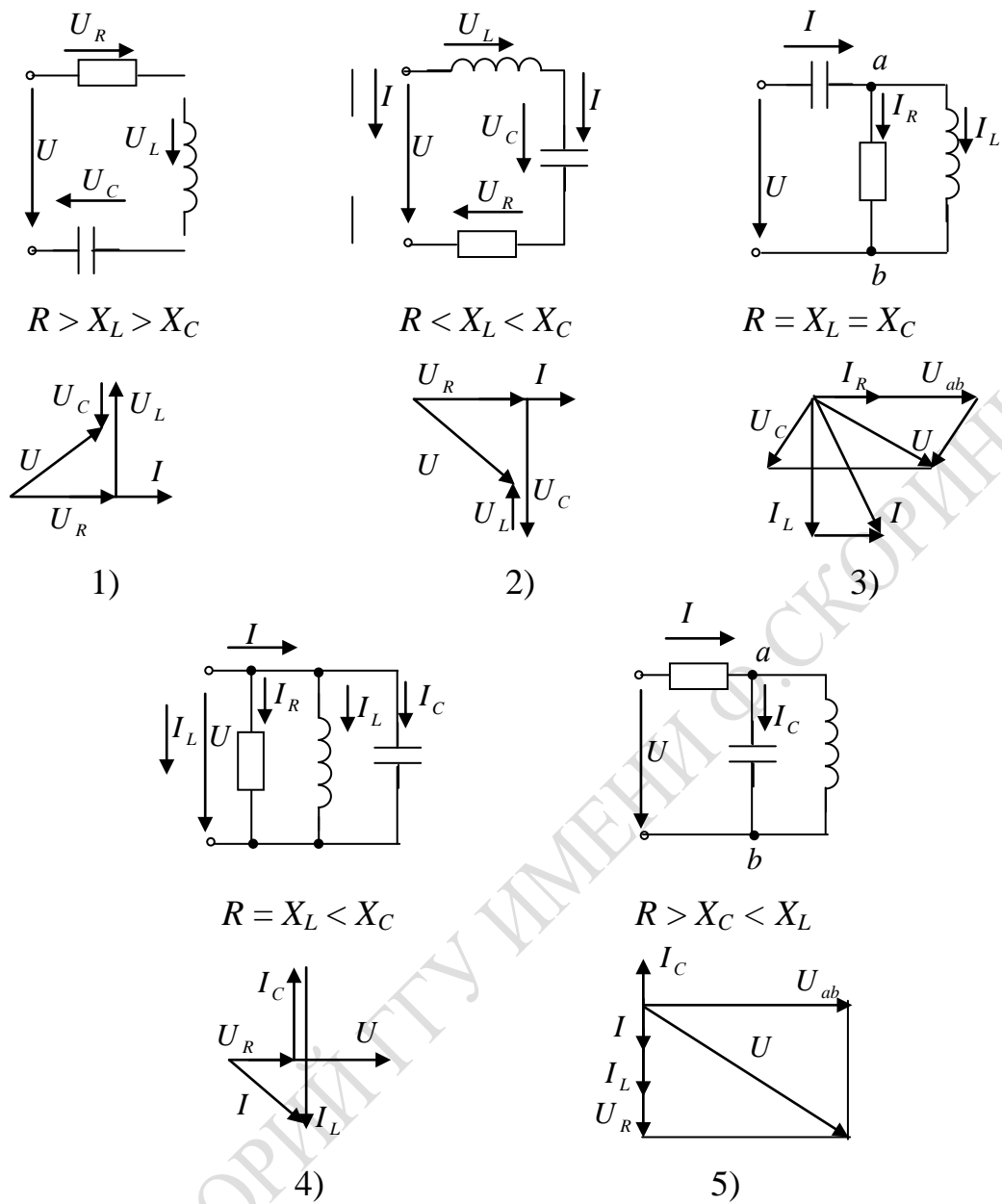


Рисунок 6.32

30 Какая из векторных диаграмм цепи (рисунок 6.33) содержит ошибку, если $X_L > X_C$?

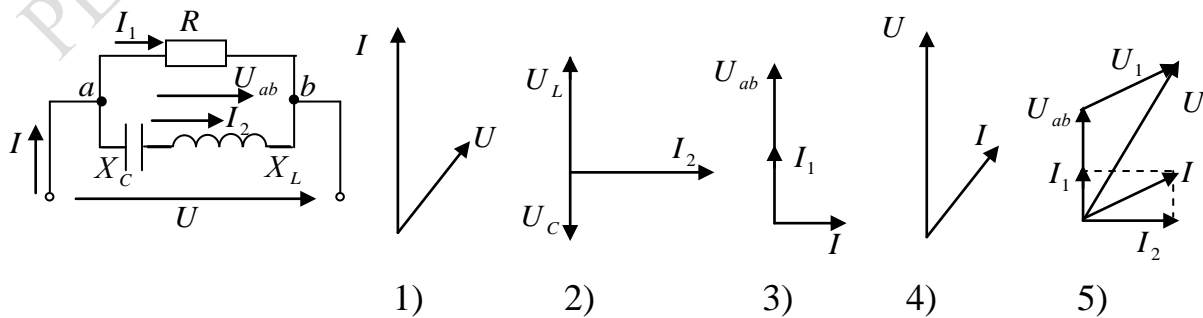


Рисунок 6.33

31 Какое из выражений не может быть использовано для определения общего тока I цепи (рисунок 6.34)?

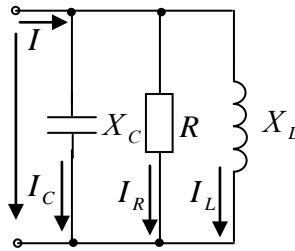


Рисунок 6.34

- 1) $\dot{I} = \dot{I}_C + \dot{I}_R + \dot{I}_L$.
- 2) $I = U / \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$.
- 3) $I = U / \sqrt{U^2 g^2 + U^2 (b_L - b_C)^2}$.
- 4) $\dot{I} = \dot{U} / R - j\dot{U} / X_L + j\dot{U} / X_C$.

32 С помощью какого выражения можно определить активную мощность цепи переменного тока?

- 1) $P = UI$.
- 2) $P = UI \cos \varphi$.
- 3) $\tilde{S} = \dot{U}\dot{I}^*$.
- 4) $\tilde{S} = \dot{U}\dot{I}$.

33 Какая формула для записи комплекса полной мощности электрической цепи однофазного синусоидального тока записана неправильно?

- 1) $\tilde{S} = \dot{U}\dot{I}^*$.
- 2) $\tilde{S} = \dot{U}\dot{I}$.
- 3) $\tilde{S} = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi$.
- 4) $\tilde{S} = P + jQ$.
- 5) $\tilde{S} = P + j(Q_L - Q_C)$.

34 Какое выражение для полной мощности электрической цепи в комплексном виде записано неправильно? Допустим, что напряжение и ток цепи записываются как $\dot{U} = Ue^{j\psi_1}$; $\dot{I} = Ie^{j\psi_2}$.

- 1) $\tilde{S} = \dot{U}\dot{I}^* = Ue^{j\psi_1} Ie^{-j\psi_2}$.
- 2) $\tilde{S} = UIe^{j(\psi_1 - \psi_2)} = Se^{j(\psi_1 - \psi_2)}$.
- 3) $\tilde{S} = UI [\cos(\psi_1 - \psi_2) + j\sin(\psi_1 - \psi_2)]$.
- 4) Если $\underline{Z} = R - jX_C$; $\psi_1 > \psi_2$, то $\tilde{S} = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi = P + jQ$.

35 Записаны комплексные значения токов и напряжений цепей. Какой характер нагрузки указан неправильно?

- 1) $\dot{I} = Ie^{j30^\circ} A$; $\dot{U} = Ue^{j60^\circ} B$ – активно-индуктивный.
- 2) $\dot{I} = Ie^{-j30^\circ} A$; $\dot{U} = Ue^{-j60^\circ} B$ – активно-емкостный.
- 3) $\dot{I} = (50 + j50) A$; $\dot{U} = (50 - j50) B$ – емкостный.
- 4) $\dot{I} = (5 - j5) A$; $\dot{U} = (50 + 50) B$ – индуктивный.
- 5) $\dot{I} = Ie^{j30^\circ} A$; $\dot{U} = -Ue^{j180^\circ} B$ – индуктивный.

36 Какие уравнения для мгновенных значений токов и напряжений электрической цепи (рисунок 6.35) составлены неправильно?

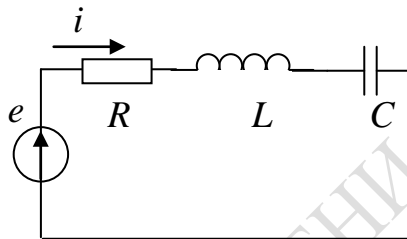


Рисунок 6.35

- 1) $iR + C \frac{du}{dt} + \frac{1}{L} \int idt = e$.
- 2) $u_R + u_L + u_C = e$.
- 3) $iR + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt = e$.
- 4) $iR + L \frac{du}{dt} + \frac{1}{C} \int idt = e$.

37 Что называется резонансом электрической цепи? Какое из указанных ниже определений справедливо лишь в частных случаях?

1) Резонансом электрической цепи R, L, C называется такое состояние электрической цепи, когда ток и напряжение цепи совпадает по фазе, то есть цепь носит чисто активный характер.

2) Резонансом электрической цепи R, L, C называется такое состояние электрической цепи, когда собственная частота колебаний цепи равна частоте напряжения сети, к которой подключается цепь.

3) Резонансом электрической цепи R, L, C называется такое состояние электрической цепи, когда резонансная частота цепи равна частоте напряжения сети, к которой подключается цепь.

4) Резонансом электрической цепи R, L, C называется такое состояние электрической цепи, когда реактивная мощность цепи равна нулю.

38 Какие признаки для резонанса напряжений в электрической цепи с R, L, C -элементами сформулированы правильно?

- 1) Сопротивление цепи минимально и чисто активное.
- 2) Сопротивление цепи максимально и чисто активное.
- 3) Ток в цепи совпадает по фазе с напряжением источника питания и достигает максимального значения.
- 4) Ток в цепи совпадает по фазе с напряжением источника питания и достигает минимального значения.

39 На рисунке 6.36 дана схема электрической цепи. Какой резонанс можно наблюдать в этой цепи и при каких условиях? Какие ответы неправильные?

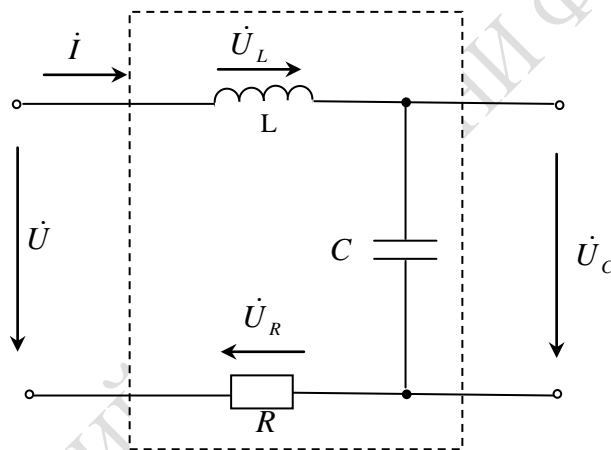


Рисунок 6.36

- 1) Резонанс токов.
- 2) Резонанс напряжений.
- 3) $X_L = X_C$.
- 4) Угол сдвига фаз между током и напряжением равен $\varphi = \pi/2$.
- 5) Полное сопротивление цепи равно ее активному сопротивлению.

40 Почему резонанс в последовательной цепи с R, L, C -элементами называют резонансом напряжений? Какой ответ правильный?

- 1) Напряжение на индуктивной катушке равно напряжению на конденсаторе и каждое в отдельности может во много раз превышать напряжение на зажимах цепи.
- 2) Ток на индуктивной катушке равен току на конденсаторе и каждый в отдельности может во много раз превышать ток в цепи.

- 3) Ток в цепи совпадает по фазе с напряжением источника питания.
 4) Напряжение на катушке и конденсаторе обусловлено накопленной в них энергией, значение которой тем больше, чем меньше потери в цепи.

41 Укажите, какая векторная диаграмма, приведенная на рисунке 6.37, соответствует резонансу напряжения?

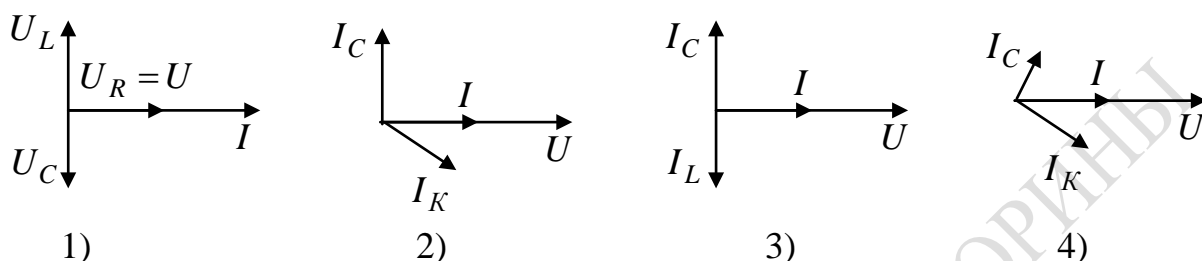


Рисунок 6.37

42 Какая формула для определения добротности контура или коэффициента резонанса записана неправильно?

- 1) $Q = U_L / U$.
 2) $Q = U_C / U$.
 3) $Q = U_L / U_R$.
 4) $Q = \rho / R$.
 5) $Q = \sqrt{C/L} / R$.

43 Какие формулы для определения волнового сопротивления контура записаны неправильно?

- 1) $\rho = \sqrt{L/C}$.
 2) $\rho = Q R$.
 3) $\rho = \sqrt{C/L}$.
 4) $Q = \rho R$.

44 Продолжите предложение. В последовательном резонансном контуре резонансная кривая...

- 1) ...характеризует способность колебательного контура выделять токи резонансных частот и ослаблять токи других частот.
 2) ...показывает зависимость действующего значения тока в контуре от частоты источника при неизменной собственной частоте контура.
 3) ...характеризует способность колебательного контура выделять токи резонансных частот.

4) ...показывает зависимость действующего значения тока в контуре от частоты источника при изменении собственной частоты контура.

45 Как изменится резонансная частота колебательного контура, если емкость увеличить, например, в 4 раза? Какой ответ правильный?

- 1) Увеличится в 4 раза.
- 2) Уменьшится в 4 раза.
- 3) Уменьшится в 2 раза.
- 4) Увеличится в 2 раза.

46 Как влияет реактивное сопротивление на ток в режиме резонанса напряжений? Какой ответ правильный?

- 1) Сильно влияет.
- 2) Слабо влияет.
- 3) Совсем не влияет.

47 На рисунке 6.38 нарисована электрическая цепь. Какой резонанс можно наблюдать в этой цепи и при каких условиях? Какой ответ неправильный?

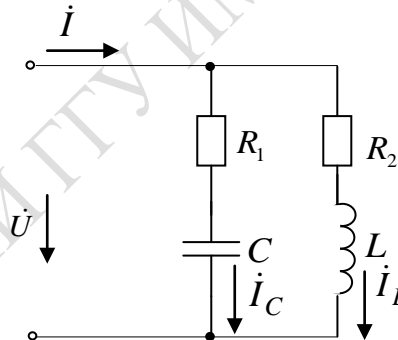


Рисунок 6.38

- 1) $b = b_L - b_C = 0$.
- 2) $\rho > R_1$, $\rho > R_2$.
- 3) $\rho < R_1$ и $\rho < R_2$.
- 4) $R_1 \neq R_2$.
- 5) Резонанс токов.
- 6) Резонанс напряжений.

48 Почему резонанс в параллельной цепи с R, L, C элементами называют резонансом токов? Какие ответы правильные?

1) Сопротивление контура максимально и носит чисто активный характер.

2) Ток в неразветвленной части цепи совпадает по фазе с напряжением источника и достигает своего минимального значения.

3) Ток в неразветвленной части цепи совпадает по фазе с напряжением источника и достигает своего максимального значения.

4) Реактивная составляющая тока в катушке индуктивности равна емкостному току, причем эти токи могут во много раз превышать ток источника.

49 *Потребляется ли энергия контуром при резонансе токов, если $R_K = 0$? Какой ответ правильный?*

- 1) Нет.
- 2) Да.
- 3) Зависит от соотношения между L и C .

50 *Какая векторная диаграмма рисунка 6.39 соответствует электрической цепи при резонансе токов? Какой ответ правильный?*

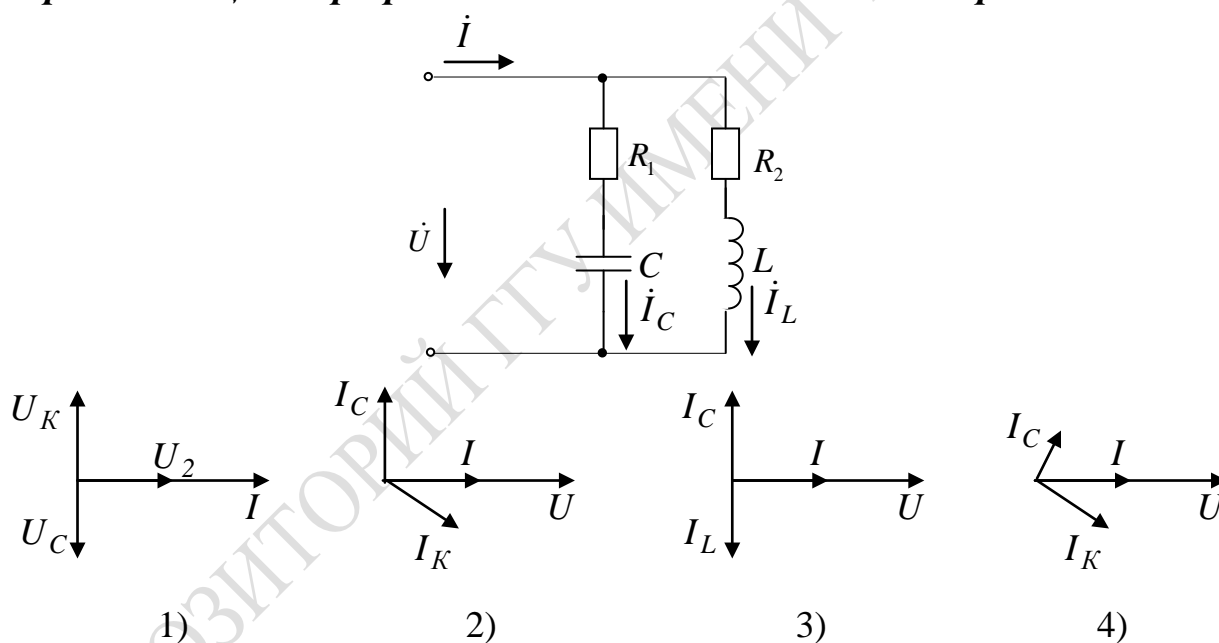


Рисунок 6.39

6.3 Электрические цепи трехфазного тока

1 *Продолжите определение. Трехфазные цепи – это...*

1) ...совокупность трех однофазных цепей, в которых действуют ЭДС, сдвинутые друг относительно друга по фазе на один и тот же угол $\frac{2\pi}{3}$.

2) ...совокупность трех однофазных цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС.

3) ...совокупность трех однофазных цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые друг относительно друга по фазе на один и тот же угол $\frac{2\pi}{3}$.

2 Что является источником электрической энергии в трехфазной цепи? Какой ответ правильный?

- 1) Синхронный генератор.
- 2) Асинхронный двигатель.
- 3) Генератор постоянного тока.

3 Какие формулы для мгновенных значений ЭДС трехфазного генератора соответствуют рисунку 6.40? Какие ответы правильные?

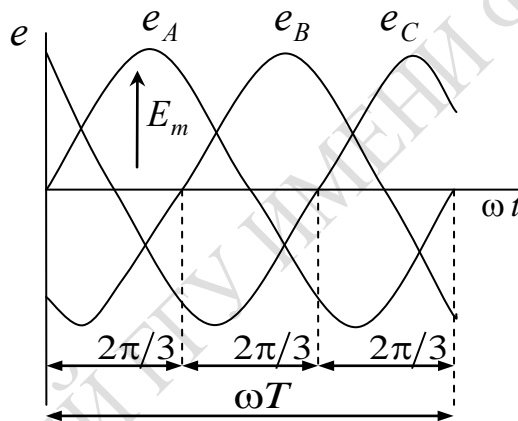


Рисунок 6.40

$$1) \left. \begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t ; \\ e_B &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) ; \\ e_C &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) . \end{aligned} \right\}$$

$$2) \left. \begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t ; \\ e_B &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) ; \\ e_C &= E_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) . \end{aligned} \right\}$$

$$3) \left. \begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t ; \\ e_B &= E_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) ; \\ e_C &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) . \end{aligned} \right\}$$

4 Как выбирается положительное направление ЭДС в каждой фазе генератора? Какие ответы правильные?

- 1) За условное положительное направление ЭДС в каждой фазе генератора принимают направление от начала фазы к концу обмотки.
- 2) За условное положительное направление ЭДС в каждой фазе генератора принимают направление от конца фазы к началу обмотки.
- 3) За условное положительное направление ЭДС в каждой фазе выбирается направление, совпадающее с направлением токов в каждой фазе.

5 Какие равенства для симметричной трехфазной системы ЭДС записаны правильно?

- 1) $e_A + e_B + e_C = 0$.
- 2) $e_A + e_B = -e_C$.
- 3) $e_A + e_B + e_C \neq 0$.

6 Какая система уравнений для комплексных значений ЭДС трехфазной системы рисунка 6.41 записана неправильно?

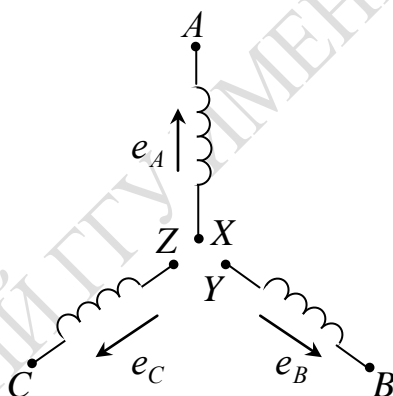


Рисунок 6.41

$$1) \left. \begin{aligned} \dot{E}_A &= E e^{j0^\circ} = E; \\ \dot{E}_B &= E e^{-j\frac{2\pi}{3}}; \\ \dot{E}_C &= E e^{j\frac{2\pi}{3}}. \end{aligned} \right\}$$

$$2) \left. \begin{aligned} \dot{E}_A &= E e^{j0^\circ} = E; \\ \dot{E}_B &= E e^{j\frac{2\pi}{3}}; \\ \dot{E}_C &= E e^{-j\frac{2\pi}{3}}. \end{aligned} \right\}$$

$$3) \left. \begin{aligned} \dot{E}_A &= E e^{j0^\circ} = E; \\ \dot{E}_B &= E \cos \frac{2\pi}{3} - jE \sin \frac{2\pi}{3}; \\ \dot{E}_C &= E \cos \frac{2\pi}{3} + jE \sin \frac{2\pi}{3}. \end{aligned} \right\}$$

7 Какую систему ЭДС называют системой прямой последовательности в трехфазной системе? Какие ответы правильные?

1) Если ротор генератора вращать в прямом направлении, получается последовательность чередования фаз A, B, C , то есть ЭДС фазы B отстает по фазе от ЭДС фазы A и ЭДС фазы C отстает по фазе от ЭДС фазы B .

2) Если ротор генератора вращать в обратном направлении, получается последовательность чередования фаз A, B, C , то есть ЭДС фазы B отстает по фазе от ЭДС фазы A и ЭДС фазы C отстает по фазе от ЭДС фазы B .

3) Если ротор генератора вращать в прямом направлении, получается последовательность чередования фаз A, B, C , то есть ЭДС фазы A опережает по фазе от ЭДС фазы B и ЭДС фазы B опережает по фазе от ЭДС фазы C .

4) Если ротор генератора вращать в обратном направлении, получается последовательность чередования фаз A, B, C , то есть ЭДС фазы B опережает по фазе ЭДС фазы A и ЭДС фазы C опережает по фазе ЭДС фазы B .

8 Какая трехфазная система называется трехпроводной? Какие ответы неправильные?

1) Если фазы источника соединены звездой, концы фаз X, Y, Z объединены в общую точку O , называемую нейтральной, а начала фаз A, B, C с помощью проводов соединены с приемником тремя проводами, которые называются линейными.

2) Если фазы источника соединены треугольником, а начала фаз A, B, C с помощью проводов соединены с приемником тремя проводами, которые называются линейными.

3) Если фазы источника соединены треугольником, концы фаз X, Y, Z объединены в общую точку O , а начала фаз A, B, C с помощью проводов соединены с приемником тремя проводами, которые называются линейными.

9 Какая векторная диаграмма на рисунке 6.42 соответствует прямой и какая обратной последовательности чередования фаз? Какие ответы неправильные?

1) а) прямая последовательность чередования фаз; б) обратная последовательность чередования фаз.

2) а) обратная последовательность чередования фаз; б) прямая последовательность чередования фаз.

3) а) обратная последовательность чередования фаз; б) обратная последовательность чередования фаз.

4) а) прямая последовательность чередования фаз; б) прямая последовательность чередования фаз.

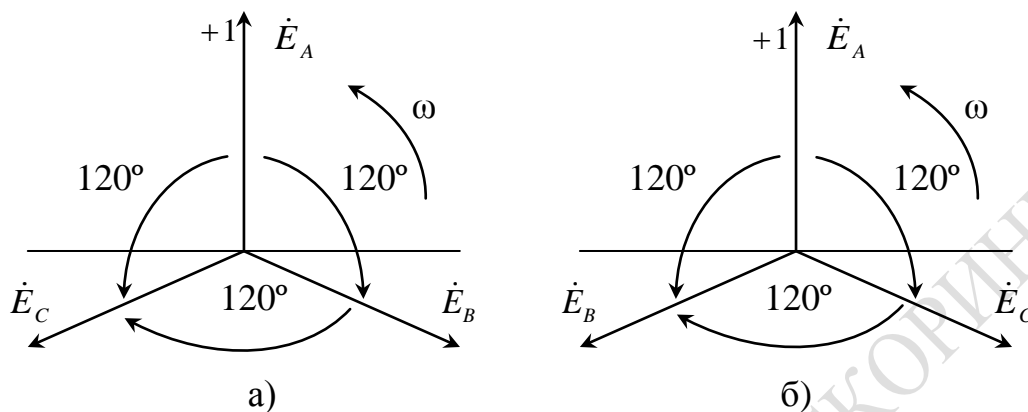


Рисунок 6.42

10 На рисунке 6.43 указаны направления ЭДС, фазных и линейных напряжений и линейных токов. Какие условно положительные направления ЭДС, фазных и линейных напряжений и линейных токов выбраны неправильно?

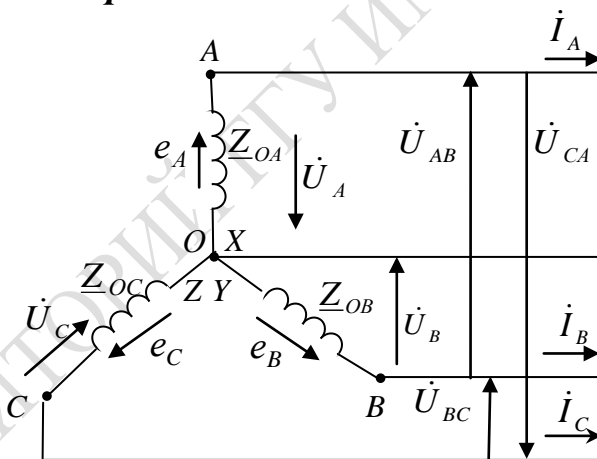


Рисунок 6.43

1) Все выбранные направления ЭДС, напряжений, токов соответствуют их условным положительным направлениям.

2) Направления линейных токов соответствуют их условным положительным направлениям.

3) Направления фазных напряжений соответствуют их условным положительным направлениям.

4) Направления линейных напряжений соответствуют их условным положительным направлениям.

11 Чему равен угол сдвига фаз между фазными и линейными напряжениями для симметричного источника, соединенного звездой? Какой ответ правильный?

- 1) $\varphi = 60^\circ$. 2) $\varphi = 45^\circ$. 3) $\varphi = 30^\circ$.

12 На рисунке 6.44 указаны направления ЭДС, линейных напряжений, фазных и линейных токов. Какие условно положительные направления ЭДС, линейных напряжений, фазных и линейных токов выбраны неправильно?

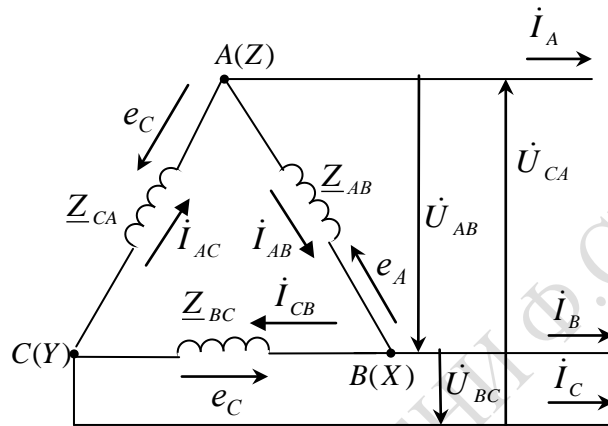


Рисунок 6.44

- 1) Все выбранные направления ЭДС, напряжений, токов соответствуют их условным положительным направлениям.
- 2) Направления линейных токов соответствуют их условным положительным направлениям.
- 3) Направления фазных токов соответствуют их условным положительным направлениям.
- 4) Направления линейных напряжений соответствуют их условным положительным направлениям.

13 Какие уравнения для трехфазного источника, схема которого приведена на рисунке 6.45, записаны неправильно?

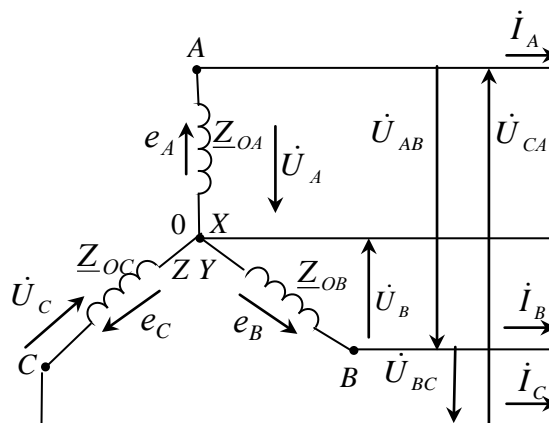


Рисунок 6.45

- 1) $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A + \dot{U}_B$; $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B + \dot{U}_C$; $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C + \dot{U}_A$.
- 2) $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A + \dot{U}_B$; $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C$; $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$.
- 3) $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B$; $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C$; $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$.

14 Для какого трехфазного источника приведена векторная диаграмма на рисунке 6.46? Какой ответ неправильный?

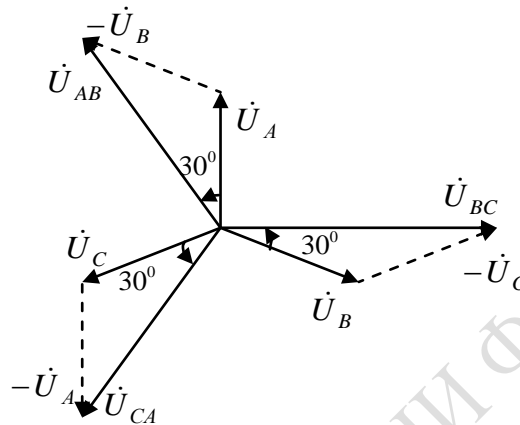


Рисунок 6.46

- 1) Векторная диаграмма соответствует симметричной системе фазных и линейных напряжений при соединении источника звездой.
- 2) Векторная диаграмма соответствует несимметричной системе фазных и линейных напряжений при соединении источника звездой.
- 3) Векторная диаграмма соответствует симметричной системе фазных и линейных напряжений при соединении источника треугольником.

15 Для симметричного источника, соединенного звездой, в формулах, связывающих фазные и линейные токи и напряжения, допущена ошибка. Какие ответы неправильные?

- 1) $U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$; $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$.
- 2) $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$; $I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\text{ф}}$.
- 3) $U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$; $I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\text{ф}}$.
- 4) $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$; $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$.

16 Для симметричного источника, соединенного треугольником, в формулах, связывающих фазные и линейные токи и напряжения, допущена ошибка? Какие ответы неправильные?

- 1) $U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$; $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$.

- 2) $U_{\text{л}} = U_{\phi}; I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\phi}.$
- 3) $U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\phi}; I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\phi}.$
- 4) $U_{\text{л}} = U_{\phi}; I_{\text{л}} = I_{\phi}.$

17 Для несимметричной трехфазной системы, соединенной звездой, были записаны формулы для напряжения между нейтральными точками 0 и 0'. Какие формулы записаны неправильно?

- 1) $\dot{U}_{00'} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_a - \dot{U}_B \underline{Y}_b - \dot{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_{00'}}.$
- 2) $\dot{U}_{00'} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_a + \dot{U}_B \underline{Y}_b + \dot{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a - \underline{Y}_b - \underline{Y}_c - \underline{Y}_{00'}}.$
- 3) $\dot{U}_{00'} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_a + \dot{U}_B \underline{Y}_b + \dot{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_{00'}}.$

18 Чему равно напряжение между нейтральными точками 0 и 0' для симметричной трехфазной системы, соединенной звездой? Какие формулы записаны неправильно?

- 1) $\dot{U}_{00'} = 0.$
- 2) $\dot{U}_{00'} = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Y}_a}.$
- 3) $\dot{U}_{00'} = \frac{\underline{Y}_a (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C)}{3\underline{Y}_a + \underline{Y}_{00'}}.$

19 При каком способе соединения трехфазной системы и с какой целью применяют нейтральный провод? Какие ответы неправильные?

- 1) В симметричной трехфазной системе, соединенной треугольником, для выравнивания нагрузки.
- 2) В несимметричной трехфазной системе, соединенной треугольником, для выравнивания нагрузки.
- 3) В несимметричной трехфазной системе, соединенной звездой, для выравнивания нагрузки.
- 4) В несимметричной трехфазной системе для увеличения сопротивления нагрузки.

20 Для какой трехфазной системы приведена векторная диаграмма на рисунке 6.47? Какие ответы неправильные?

- 1) Нагрузка несимметричная, соединенная звездой.
- 2) Нагрузка симметричная, соединенная звездой.
- 3) Нагрузка несимметричная, соединенная треугольником.

- 1) Для симметричной нагрузки, соединенной треугольником.
- 2) Для несимметричной нагрузки, соединенной треугольником.
- 3) Для несимметричной нагрузки, соединенной звездой.
- 4) Для симметричной нагрузки, соединенной звездой.

23 Какой тип нагрузки трехфазной системы не соответствует векторной диаграмме (рисунок 6.50)?

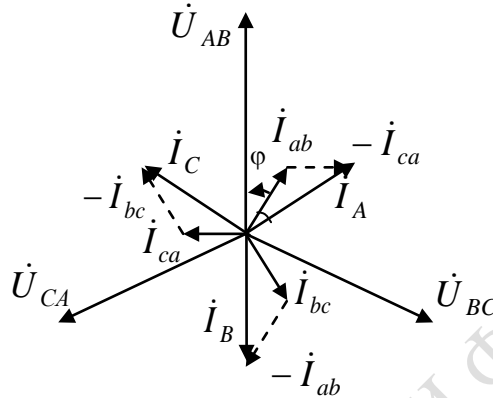


Рисунок 6.50

- 1) Активная.
- 2) Активно-индуктивная.
- 3) Активно-емкостная.
- 4) Индуктивно-емкостная.
- 5) Индуктивная.

24 Какие формулы для вычисления комплекса полной мощности трехфазной цепи записаны правильно?

- 1) $\tilde{S} = \dot{U}_A \dot{I}_A + \dot{U}_B \dot{I}_B + \dot{U}_C \dot{I}_C$.
- 2) $\tilde{S} = \dot{U}_A \dot{I}_A^* + \dot{U}_B \dot{I}_B^* + \dot{U}_C \dot{I}_C^*$.
- 3) $\tilde{S} = P + jQ$.

25 Какие формулы для вычисления полной мощности трехфазной цепи при симметричной нагрузке записаны правильно?

- 1) $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3\sqrt{P_\phi^2 + Q_\phi^2}$.
- 2) $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_\phi I_\phi$.
- 3) $S = 3S_\phi = 3U_\phi I_\phi$.
- 4) $S = \sqrt{P + Q} = 3U_\phi I_\phi$.

26 Для какой схемы соединения нагрузки имеют место ниже-приведенные выражения для мощностей и какие ответы правильные?

1) $P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$; 2) $Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi$; 3) $S = \sqrt{3} UI$.

- 1) Симметричная нагрузка, соединенная звездой.
- 2) Симметричная нагрузка, соединенная треугольником.
- 3) Несимметричная нагрузка, соединенная треугольником.
- 4) Несимметричная нагрузка, соединенная звездой.

Литература

- 1 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 2007. – 701 с.
- 2 Батура, М. П. Теория электрических цепей : учебник / М. П. Батура, А. П. Кузнецов, А. П. Курулев ; под ред. А. П. Курулева. – 2-е изд. – Минск : Высшая школа, 2007. – 608 с.
- 3 Теоретические основы электротехники : учебник для вузов : в 3 т. Т. 1 : Теоретические основы электротехники / К. С. Демирчян [и др.]. – 4-е изд. – СПб. : Питер, 2004. – 462 с.
- 4 Теоретические основы электротехники : учебник для вузов : в 3 т. Т. 2 : Теоретические основы электротехники / К. С. Демирчян [и др.]. – 4-е изд. – СПб. : Питер, 2004. – 576 с.
- 5 Атабеков, Г. И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г. И. Атабеков. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2006. – 432 с.
- 6 Электротехника : учебник для вузов / Х. Э. Зейдель [и др.] ; под ред. В. Г. Герасимова. – М. : Высшая школа, 1985. – 480 с.
- 7 Касаткин, А. С. Электротехника : учебник для вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – М. : Высшая школа, 2005. – 544 с.
- 8 Бессонов, Л. А. Сборник задач по теоретическим основам электротехники / Л. А. Бессонов [и др.]. – М., 2003. – 528 с.
- 9 Реус, Г. Г. Основы электротехники и электроники в задачах с решениями: учебное пособие / Г. Г. Реус. – М., 2005. – 343 с.
- 10 Новиков, П. Н. Задачник по электротехнике : учебное пособие / П. Н. Новиков [и др.]. – М., 1999. – 336 с.
- 11 Иванов, И. И. Электротехника. Основные положения, примеры и задачи : учебник для вузов / И. И. Иванов, А. Ф. Лукин, Г. И. Соловьев. – СПб., 2002. – 224 с.

12 Голубков, В. С. Переходные процессы, нелинейные цепи и компьютерное моделирование / В. С. Голубцов, Ю. И. Третьяков ; под ред. В. А. Алехина. – М., 2002. – 184 с.

13 Богданович, В. И. Электротехника: сборник задач / В. И. Богданович. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 47 с.

14 Богданович, В. И. Теория электрических цепей : лабораторный практикум : учебно-методическое пособие для студентов вузов по специальности «Атоматизированные системы обработки информации» / В. И. Богданович. В. Н. Мышковец. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 82 с.

15 Богданович, В. И. Электротехника : лабораторный практикум : учебно- методическое пособие для студентов вузов по специальности «Атоматизированные системы обработки информации» / В. И. Богданович; В. Н. Мышковец. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 74 с.

16 Теория электрических цепей : Лабораторный практикум : учебно-методическое пособие для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования по специальности «Программное обеспечение информационных технологий» / В. И. Богданович [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2011. – 120 с.

17 Теория электрических цепей : учебное пособие для студентов вузов по специальности «Физическая электроника» / В. И. Богданович [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2013. – 148 с.

Учебное издание

Богданович Валентина Иосифовна,
Мышковец Виктор Николаевич,
Самофалов Андрей Леонидович,
Свиридова Валентина Владимировна

**ТЕОРИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ.
ПРОВЕРОЧНЫЕ ТЕСТЫ**

Пособие

Редактор *В. И. Шкредова*
Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать 04.05.2016. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 6,7.
Уч.-изд. л. 7,4. Тираж 25 экз. Заказ 288.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013.

Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.

Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.

